

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE CAMPINAS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS, AMBIENTAIS E DE
TECNOLOGIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
ELÉTRICA**

JOSÉ RICARDO ALVES

**MONITORAMENTO DE REMANESCENTES
FLORESTAIS URBANOS COM VEÍCULO AÉREO
NÃO TRIPULADO**

CAMPINAS

2017

JOSÉ RICARDO ALVES

**MONITORAMENTO DE REMANESCENTES
FLORESTAIS URBANOS COM VEÍCULO AÉREO
NÃO TRIPULADO**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia Elétrica do Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias da Pontifícia Universidade Católica de Campinas como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Engenharia Elétrica.

Orientadora: Profa. Dra. Lia Toledo Moreira Mota

PUC-CAMPINAS

2017

Ficha Catalográfica Elaborada por Marluce Barbosa
Sistema de Bibliotecas e Informação - SBI – PUC-Campinas

t621.3851 Alves, José Ricardo.
A474m Monitoramento de remanescentes florestais urbanos com veículo aéreo não tripulado / José Ricardo Alves. - Campinas: PUC-Campinas, 2017. 109f.

Orientadora: Lia Toledo Moreira Mota
Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias, Pós-Graduação em Engenharia Elétrica.
Inclui anexo e bibliografia.

1. Redes de sensores sem fio. 2. Aeronave não tripulada. 3. Desmatamento - Controle. 4. Florestas urbanas - Planejamento - Campinas (SP). 5. Política ambiental. 6. Conservação da natureza. I. Mota, Lia Toledo Moreira. II. Pontifícia Universidade Católica de Campinas. Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias. Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. III. Título.

22.ed. CDD – t621.3851

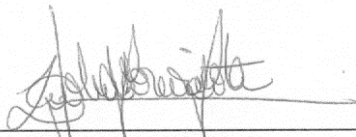
JOSÉ RICARDO ALVES

**MONITORAMENTO DE REMANESCENTES FLORESTAIS
URBANOS COM VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO**

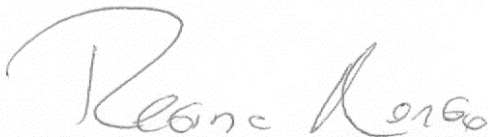
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias da Pontifícia Universidade Católica de Campinas como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Gestão de Redes de Telecomunicações.

Área de Concentração: Engenharia Elétrica.
Orientador: Profa. Dra. Lia Toledo Moreira Mota

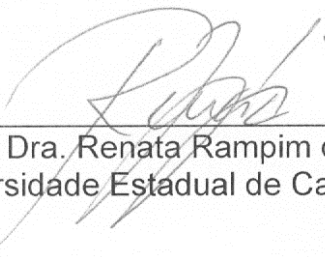
Dissertação defendida e aprovada em 18 de dezembro de 2017 pela Comissão Examinadora constituída dos seguintes professores:



Profa. Dra. Lia Toledo Moreira Mota
Orientadora da Dissertação e Presidente da Comissão Examinadora
Pontifícia Universidade Católica de Campinas



Profa. Dra. Regina Márcia Longo
Pontifícia Universidade Católica de Campinas



Profa. Dra. Renata Rampim de Freitas Dias
Universidade Estadual de Campinas/ RF Consulting

**Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica**

Autor: ALVES, José Ricardo

Título: MONITORAMENTO DE REMANESCENTES FLORESTAIS URBANOS
COM VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO

Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica

BANCA EXAMINADORA

Prof^ª. Dr^ª. Lia Toledo Moreira Mota
Orientadora da Dissertação e Presidente da Comissão Examinadora
Pontifícia Universidade Católica de Campinas

Prof^ª. Dr^ª. Regina Márcia Longo
Pontifícia Universidade Católica de Campinas

Prof^ª. Dr^ª. Renata Rampim de Freitas Dias
Universidade Estadual de Campinas/RF Consulting

Campinas, 18 de dezembro de 2017.

Dedico esse meu trabalho primeiramente a Deus, à minha orientadora Professora Dr.^a Lia Toledo Moreira Mota que compartilhou seus conhecimentos, ao Professor Dr. Alexandre de Assis Mota (in memoriam), à minha família pelo total apoio, à PUC-Campinas por proporcionar um ambiente propício para o desenvolvimento desse trabalho.

AGRADECIMENTOS

À Professora Dr^a Lia Toledo Moreira Mota, minha orientadora e responsável pela minha jornada e chegada até esse presente momento. Agradeço a ela pelo apoio, incentivo, um exemplo de profissional e de pessoa, acreditou no meu potencial.

Ao Professor Dr. Alexandre Mota (*in memoriam*) que sempre me apoiou não só nesse trabalho de mestrado, mas em outros da graduação e nas diversas publicações. Foi o responsável pelo meu ingresso no curso de mestrado da PUC-Campinas. A essa pessoa, serei eternamente grato e nunca sairá das minhas lembranças.

Aos Mestres Argemiro, Daniel, Inácio e ao amigo de classe Mateus pelas sugestões em questões técnicas, meus agradecimentos.

Ao Ronaldo Tadeu Geraldelli que me apoiou muito desde o início deste trabalho.

Aos professores e companheiros de classe do programa de Mestrado em Engenharia Elétrica da PUC-Campinas, pela partilha de seus conhecimentos.

Agradeço a Pontifícia Universidade Católica de Campinas por ter concedido a bolsa integral durante o período do curso Mestrado em Engenharia Elétrica da PUC-Campinas.

“Quem elegeu a busca não pode recusar a travessia, pois nada cai do céu na aba ou no interior do seu chapéu”.

João Guimarães Rosa
(1908 - 1967)

RESUMO

ALVES, José Ricardo. *Monitoramento de remanescentes florestais urbanos com veículo aéreo não tripulado*. 2017. 109f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, 2017.

Esse trabalho teve o intuito de utilizar tecnologias atuais para coleta das grandezas ambientais das matas para realizar um acompanhamento periódico dos remanescentes florestais urbanos de Campinas, mais especificamente a Mata do Quilombo, localizada no distrito de Barão Geraldo, que auxiliasse na prevenção do avanço da degradação frequente e do desmatamento. A utilização do VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado) no diagnóstico e preservação desse remanescente florestal urbano proporcionou um método de baixo custo e uma avaliação de forma não invasiva. A estratégia visou utilizar o VANT com sensores eletrônicos embarcados acionados remotamente afim de capturar unidades de grandezas ambientais como a localização de clareiras no interior da mata provindas do desmatamento, temperatura e umidade do ar, luminosidade e localização georreferenciada do local de estudo. Aliada à tecnologia do VANT, também foi utilizada a tecnologia de comunicação sem fio com diversas faixas de frequências, validando assim o funcionamento desses sensores embarcados em atividade simultânea sem que houvesse interferências entre os mesmos e de meios externos. Após a coleta, o intuito foi submeter os dados coletados a um tratamento de verificação de *outlier* (método de descarte de dados que se distanciam dos demais) e disponibilizá-los numa central de monitoramento, de forma que o usuário pudesse salvar essas informações posteriormente num servidor de acesso remoto conhecido como sistema supervisório.

Palavras-chave: Drone. VANT. Remanescente Florestal Urbano

ABSTRACT

ALVES, José Ricardo. *Monitoring urban forest remnants with an unmanned aerial vehicle*. 2017. 109f. Dissertation (Master's Degree in Electrical Engineering) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, 2017.

The aim of this dissertation was to use current technology to collect environmental quantities of forests to perform a periodic monitoring that would aid in preventing the advance of degradation and deforestation of the urban forest remnants of Campinas, more specifically Mata do Quilombo, located in the Barão Geraldo district. The use of Unmanned Aerial Vehicles (UAV) in the diagnosis and preservation of this urban forest remnant provided a low-cost method and a non-invasive monitoring. The strategy was to use the UAV with embedded remotely-activated electronic sensors in order to collect units of environmental quantities such as the location of clearings within the forest created by deforestation, air temperature and humidity, luminosity and the georeferenced location of the study site. In addition to the UAV technology, wireless technology was also used to communicate with various frequency bands, thus validating the simultaneous operation of the embedded sensors without any interference between them or external sources. After the data was collected, the objective was to submit it to an outlier verification method and make them available in a monitoring center, so that the user could later save this information in a remote access system known as supervisory system.

Keywords: Drone. UAV. Urban Forest Remnant.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Despejo de lixo na Mata Quilombo	22
Figura 2 – Ilustração bomba e balão.....	26
Figura 3 – Destaca os balões atacando em 1880	26
Figura 4 – RQ-4B Global Hawk.....	28
Figura 5 – TIGEWATER.....	28
Figura 6 – Aeroplano Glider 3500	29
Figura 7 – ElectriFly Evader Ducted Fan Sport Jet	30
Figura 8 – S800 Sky Shadow-S FPV Flying Wing 820mm.....	30
Figura 9 – MD4-1000	32
Figura 10 – Plataforma Mission Planner	33
Figura 11 – PIXHAWK	34
Figura 12 – Foto aérea da floresta subtropical da china	35
Figura 13 – Vant utilizado no monitoramento.....	41
Figura 14 – Arduino UNO.....	42
Figura 15 – <i>Shield</i> Ethernet W5100	42
Figura 16 – Sensor de temperatura e umidade.....	43
Figura 17 – Sensor de luminosidade LDR	44
Figura 18 – Sonar ultrassônico HC-SR04	45
Figura 19 – Gopro Hero 3+	46
Figura 20 – FPV – TX TS832 e Tela LCD 7”	46
Figura 21 – FPV – RX TS832.....	46
Figura 22 – <i>Shield</i> módulo GPS.....	47
Figura 23 – Módulo RF433MHz TX/RX.....	49
Figura 24 – Comunicação Rádio controle	50
Figura 25 – Acionamento chave 5 do rádio HobbyKing	50
Figura 26 – Acionamento da chave 6 do rádio HK.....	51
Figura 27 – Rádio Futaba Fasst 2.4ghz	52
Figura 28 – Rádio HobbyKing 7X v2	52
Figura 29 – Motor Brushless 2212/920kv DJI	53
Figura 30 – Esc E300.....	54
Figura 31 – Diagrama de Blocos.....	54
Figura 32 – Fluxograma	55

Figura 33 – Interação entre os módulos de <i>software</i>	56
Figura 34 – <i>Software</i> assistente NAZA-M	58
Figura 35 – Selecionar o multimotor	58
Figura 36 – Configuração do GPS	60
Figura 37 – NAZA-M LITE User Manual, 2013.....	61
Figura 38 – Dados do arquivo de texto do cartão de memória	63
Figura 39 – Local dos testes Sítio	65
Figura 40 – Voo do <i>drone</i> no Sítio	65
Figura 41 – Local da Mata Quilombo pelo Google Maps	67
Figura 42 – Local dos testes Mata Quilombo	67
Figura 43 – VANT implementado	68
Figura 44 – Medida de distância	72
Figura 45 – Medida de luminosidade	73
Figura 46 – Medida de temperatura	73
Figura 47 – Medida de umidade do ar	74
Figura 48 – Foto aérea da Mata do Quilombo.....	75
Figura 49 – Foto aérea da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), localizada ao lado da Mata do Quilombo	75
Figura 50 – Encontro pastagem com a vegetação nativa	76
Figura 51 – Sobrevoo sobre o remanescente florestal urbano	76
Figura 52 – Figura 51 ampliada	77
Figura 53 – Trajetória de voo do VANT.....	78
Figura 54 – Temperatura no Sistema Supervisório TAGO.....	80
Figura 55 – Umidade no Sistema Supervisório TAGO.....	80
Figura 56 – Luminosidade no Sistema Supervisório TAGO.....	81
Figura 57 – Distância no Sistema Supervisório TAGO	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características do Módulo Sensor Ultrassônico.....	44
Tabela 2 – Característica do Módulo Sensor Ultrassônico	45
Tabela 3 – Características do Módulo TX RF433MHz	48
Tabela 4 – Características do Módulo RX RF433MHz.....	48
Tabela 5 – Características do motor <i>Brushless</i> 2212.....	53
Tabela 6 – Características do Esc E300	54
Tabela 7 – Custos do trabalho	69
Tabela 8 – Coordenadas de voo do <i>drone</i> na Mata do Quilombo.....	79

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
CAVE	Certificado de Autorização de Voo Experimental
CDHU	Companhia de Desenvolvimento Habitacional Urbano
CG	Centro de Gravidade
DC	<i>Direct Current</i>
DECEA	Departamento de Controle do Espaço Aéreo
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPP	Polipropileno
ERAST	<i>Research Aircraft and Sensor Technology</i>
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
FPV	<i>First Personal Vision</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
HK	<i>HobbyKing</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IoT	Internet das Coisas
LDR	<i>Light Dependent Resistor</i>
MDT	Modelo Digital de Terreno
MinGW	<i>Minimalist GNU for Windows</i>
MODIS	<i>Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer</i>
NASA	Agência Espacial Norte Americana
PMD	Peso Máximo de Pilotagem
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i>
RBAC	Regulamento Brasileiro de Aviação Civil Especial
RF	Rádio Frequência
RPA	<i>Remotely Piloted Aircraft</i>
RPAS	<i>Remotely Piloted Aircraft Systems</i>
Rx	Receptor

SISVANT	Sistema de Veículo Aéreo Não Tripulado
Tx	Transmissor
VANT	Veículo Aéreo Não Tripulado

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1.	Contextualização e Justificativa	17
1.2.	Objetivos	19
1.2.1.	Objetivo Geral.....	19
1.2.2.	Objetivos Específicos	19
1.3.	Organização do trabalho	19
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
2.1.	Remanescentes Florestais Urbanos	21
2.2.	Veículos Aéreos Não-tripulados	24
2.3.	Utilização de VANTS em aplicações ambientais.....	31
2.4.	Regulamento Brasileiro para Veículos Aéreos Não Tripulados.....	37
3	METODOLOGIA.....	40
3.1.	VANT escolhido.....	40
3.2.	<i>Hardware</i>	41
3.2.1.	Sensores para o Monitoramento	43
3.2.2.	Sensor de Temperatura e Umidade do Ar	43
3.2.3.	Sensor de Luminosidade	43
3.2.4.	Sensor de Distância	44
3.2.5.	Câmera e <i>First Personal Vision</i> (FPV).....	45
3.2.6.	Módulo <i>Global Positioning System</i> (GPS)	47
3.2.7.	Armazenamento dos Dados Coletados	47
3.2.8.	Transmissão dos dados.....	48
3.2.9.	Procedimento para a Coleta e a Transmissão dos dados	49
3.2.10.	Multimotores	52
3.2.11.	Esc's	53
3.3.	Software	54
3.3.1.	Conflitos entre sensores	56
3.3.2.	Configuração do rádio <i>drone</i>	57
3.3.1.1	Coleta de dados	61
3.3.1.2	Transmissão de dados	61
3.3.1.3	Verificação de <i>outliers</i>	62
3.3.3.	Sistema Supervisório TAGO.....	63
3.4.	Ensaio para validação dos Sensores	64
3.5.	Ensaio para Monitoramento de Remanescentes Florestais Urbanos	66
4	RESULTADOS	68
4.1.	Resultados da Implementação do VANT	68
4.1.1.	Análise de custos	69
4.2.	Resultados dos ensaios para validação dos sensores.....	71
4.3.	Resultados do monitoramento de remanescentes florestais urbanos	74
4.3.1.	Monitoramento das grandezas ambientais no TAGO.....	77
5	CONCLUSÃO.....	82
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83

APÊNDICES	90
APÊNDICE A – DRONE_TXgps433MHZ_dht22	90
APÊNDICE B – Código <i>echo.ino</i>	96
APÊNDICE C – Código <i>upload.py</i>	97
APÊNDICE D – <i>Script</i> <i>limpa.sh</i>	102
APÊNDICE E – <i>outlier.py</i>	103
APÊNDICE F – Autorização da ANAC	108

1 INTRODUÇÃO

1.1. Contextualização e Justificativa

Devido ao constante aumento populacional, áreas onde antes existiam florestas, vêm sendo utilizadas na construção de residências, edifícios e aeroportos. Essas ações antrópicas facilitam a destruição do ecossistema. A degradação, além de reduzir matas a pequenas células espalhadas pela cidade, impacta, também em áreas cultivadas. (ALVES et al, 2016a). Segundo Zamgirolami (2013), a importância da organização do espaço que atenda às necessidades das pessoas passou a ser um ponto crucial para o desenvolvimento das áreas urbanas nos dias de hoje, levando em consideração que 80% da população do Brasil reside nessas áreas. Nesse sentido, há a preocupação de que aumento das atividades antrópicas no meio ambiente resulta em consequências catastróficas, desde a fragmentação das matas até a desarmonia da natureza. No Estado de São Paulo o setor agrícola tem uma atividade muito intensa tanto na área urbana quanto na zona rural, provendo maior fragmentação das matas. Percebeu-se que as atividades intensas dos seres humanos na área de vegetação nativa resultam numa lenta recuperação da flora. Com o intuito de organizar e distribuir melhor a população em cidades com mais de 20 mil habitantes de forma equilibrada, foi criada a política de desenvolvimento Urbano citada pela Constituição da República Federativa do Brasil, Capítulo II, artigo 182 para que cause menor dano ao meio ambiente.

Segundo o Programa de Monitoramento Ambiental dos Biomas Brasileiros, no Brasil (BRASIL, 2016), existe um histórico de monitoramento tecnológico aprimorado em florestas reconhecido mundial. O Brasil se aprimorou em sistema de monitoramento orbital, ou seja, por imagens via satélite. Na década de 70 houve um fortalecimento a partir do momento que surgiram parceiros que tinham o mesmo objetivo: o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), que é especialista no estudo e soluções espaciais; o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), que informa estaticamente tudo que acontece no país através de recenseadores; e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), que é um órgão de pesquisa agropecuária e agrícola. Dessa forma, a fiscalização ficou mais forte e

abrangente ao combate a diversos eventos prejudiciais às áreas ecológicas, como incêndios, desmatamento e outras ações antrópicas.

O monitoramento passou a ser uma preocupação para o governo brasileiro, o que ocasionou a necessidade de realizar estudos mais confiáveis no que se diz respeito a remanescentes florestais. Diante disso, o Ministério do Meio Ambiente, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) e outros projetos iniciaram nos anos 2008 vários procedimentos de monitoramento em vários biomas espalhados pelo Brasil, como a Caatinga e Mata Atlântica, que se estenderam até 2011. Essa cobertura do solo brasileiro resultou no desenvolvimento políticas ambientais mais inteligentes, reduzindo significativamente a taxa anual de desmatamento no território brasileiro, mais especificamente na Amazônia. Toda essa mobilização teve um custo aproximado de \$100 milhões de reais (BRASIL, 2016).

No que se refere ao avanço tecnológico empregado no monitoramento de remanescentes florestais urbanos, pode-se destacar o Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT), conhecido popularmente como *drone*, uma tecnologia que antes era utilizada apenas por militares, mas hoje está disponível também para uso civil. Esse dispositivo é capaz de transportar variados sensores que auxiliam no monitoramento e controle de degradação, sobrevoar matas coletando informações importantes para pesquisas e transmitir essas informações para sistemas supervisórios de acesso remoto (AGUIRRE et al., 2017). A integração dessa tecnologia à Internet das Coisas (*Internet of Things - IoT*) transformou esse aparato voador em uma ferramenta útil e colaborativa, em especial com relação à sua capacidade de apoio ao monitoramento do remanescente florestal urbano, permitindo menos intervenção antrópica e, em alguns casos, mostrando-se como tecnologia bastante adequada para o deslocamento sobre as matas e terrenos irregulares.

Segundo A. Oliveira (2015), a utilização do *drone* num monitoramento apresenta várias vantagens quando se diz respeito a deslocamento aéreo, como a fácil coleta de imagens durante o voo, a redução considerável de custos quando comparado a aviões e helicópteros (principalmente em se tratando de custos de manutenção), e o fato de que não há pessoas a bordo, o que poupa vidas caso ocorra algum acidente. Além disso, o custo para treinamento de pessoas para esse tipo de

trabalho é menor, principalmente pelo fato de não ser necessário um grande número de pilotos para isso.

Nesse sentido, a importância e a vantagem do monitoramento de um remanescente florestal urbano se torna viável quando consideradas as informações dadas acima.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um sistema para monitoramento de remanescentes florestais urbanos, utilizando Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs).

1.2.2. Objetivos Específicos

De forma mais específica, o sistema desenvolvido pelo trabalho deve:

1) Realizar a coleta de dados ambientais, de forma não invasiva, utilizando sensores de temperatura do ar, umidade do ar, luminosidade, altitude, câmera de alta definição e sistema de coordenadas geográficas.

2) Transmitir essas informações utilizando uma rede sem fio para uma central de monitoramento, onde são filtradas e analisadas, visando, futuramente, a obtenção de um diagnóstico ambiental preliminar do remanescente florestal urbano.

1.3. Organização do trabalho

Este trabalho está organizado como se segue.

O capítulo 2 trata de apresentar as principais causas das transformações negativas dos remanescentes florestais urbanos todos os anos em decorrência de ações antrópicas como o aumento populacional urbano e a construção civil, indicadores de fragmentação das florestas e do avanço da degradação de matas, afluentes e mananciais, trazendo o desequilíbrio ecológico. O capítulo também aborda o surgimento da tecnologia dos VANTs e sua utilização em aplicações ambientais, bem como a legislação específica.

O capítulo 3 aborda, de maneira geral, o desenvolvimento, o desempenho e a evolução do *drone* utilizado neste trabalho, descreve suas características e os sensores responsáveis pela coleta de cada medida de grandeza ambiental e o armazenamento dessas informações. O capítulo também explica como foi a configuração do *drone* para a execução da tarefa, o desenvolvimento dos softwares e códigos e a entrega das informações ao sistema supervisor. Por fim, descreve os testes executados para validação dos sensores.

O capítulo 4 descreve os resultados da implementação do *drone* no monitoramento do remanescente florestal urbano Mata do Quilombo, no distrito de Barão Geraldo (Campinas – SP) e apresenta os dados coletados pelos equipamentos embarcados no *drone*. Além disso, o capítulo também exibe uma análise de custos do trabalho.

O capítulo 5 apresenta as conclusões tiradas a partir da elaboração deste trabalho, bem como sugestões pertinentes para trabalhos futuros na mesma área.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Remanescentes Florestais Urbanos

Segundo FRANCO et al. (2007), no Brasil, mais especificamente nas cidades em torno da metrópole paulistana, ocorrem grandes transformações todos os anos devido ao crescimento populacional que levam à extinção de muitas áreas de vegetação, principalmente nas nascentes e cabeceiras dos rios, dessa forma atingindo diretamente o meio ambiente e agravando a degradação dos recursos disponíveis na natureza. Interesses distintos e na maioria opostos, como o crescimento urbano industrial e a própria expansão das cidades nos arredores da cidade de São Paulo pioram ainda mais a situação do já degradado atual cenário ambiental.

Conforme Costa (2006), a expansão da região de São Paulo vem sendo executada de maneira errônea ao longo dos anos, devido ao aumento exponencial da população na área urbana e à má administração e planejamento da expansão das cidades, processo que se iniciou nos anos 1980. Como consequência, ocorre a fragmentação e supressão aos remanescentes florestais urbanos da região paulista.

Nem sempre as evoluções das edificações acompanham as leis estabelecidas pelos órgãos competentes, e o crescimento desordenado de chácaras, condomínios e construções em lugares inadequados muitas vezes ocorre de forma livre. Ou seja, uma vez que não são seguidas as leis estabelecidas, percebe-se pouco compromisso para com a preservação ambiental no meio urbano.

Farias et al. (2012) afirmam que as matas, afluentes e mananciais sofrem com uma impiedosa degradação diante do avanço populacional que traz como resultado vários fatores negativos, como a fragmentação das matas e florestas, que acabam perdendo sua extensão e se tornando pequenas células espalhadas, cada vez mais invadidas pelo crescimento populacional urbano. Essa fragmentação também tem como consequência o encontro impactante e prejudicial entre dois sistemas: as matas nativas preservadas e as áreas cultivadas para subsistência do ser humano.

Conforme Zangirolami (2013), a forma imprópria de lidar com as terras nas áreas verdes que ocorre diversos segmentos, desde o segmento agrícola ao manejo de animais através de pastagens, tem como consequência uma degradação da vegetação que ocorre mais rapidamente do que sua recuperação, acarretando uma diminuição considerável da sua biodiversidade. Nessas condições, as áreas podem se fragmentar, tornando-se apenas áreas recreativas. Esses fragmentos de floresta são conhecidos como remanescentes florestais e quando estão inseridos em áreas urbanas são chamados de remanescentes florestais urbanos.

Segundo Zangirolami (2013), que teve como foco em sua pesquisa o Remanescente Florestal Urbano Quilombo, localizado no distrito de Barão Geraldo (Campinas – SP), este vem sendo vítima de degradação por ações antrópicas devido a várias atividades irresponsáveis, como o desmatamento e o despejo de sobras de materiais de construção, móveis e lixo em geral nas bordas da mata devido à facilidade de acesso à área. Tais ações aliadas à atividade de caçadores também diminuem a presença de animais silvestres, causando um enorme impacto ambiental.

A Figura 1 ilustra o problema do despejo de lixo na Mata do Quilombo.

Figura 1 – Despejo de lixo na Mata Quilombo



Fonte: Zangirolami (2013)

Franco et al. (2007) ressalta que a ação humana destrói a vegetação nativa para dar espaço a pastagens para criação de animais; para o cultivo de plantações diversas como o plantio de milho, cana de açúcar, café, arroz, feijão, trigo e afins; ou até mesmo para atender interesses distintos e opostos que apoiam o avanço da

ocupação urbano-industrial e o aumento das áreas de agricultura e inclusive dão forças a projetos de lei que solicitam a ocupação desses remanescentes florestais para dar espaço ao desenvolvimento industrial.

Segundo Farias et al. (2012), o encontro da vegetação nativa com a área de lavoura, que muitas vezes vem seguido por desastrosos resultados ao meio ambiente, é conhecido como “efeito de borda” e é um fenômeno que impacta diretamente e negativamente a vegetação nativa, pois o choque entre os dois sistemas causa alterações físicas, químicas e biológicas ao sistema de matas. Esse efeito também pode se estender às matas ripárias, também conhecidas como matas ciliares, que são árvores de grande porte que margeiam os barrancos dos rios e lagos responsáveis por sustentar e ajudar na conservação e facilitar o rápido surgimento da vegetação nativa pelo fato de tornarem a terra mais arenosa, ajudando na recuperação da vegetação.

Costa (2006) cita o avanço urbano desordenado que acontece na cidade de São Paulo, que vem sendo sufocada pelo progresso desenfreado com o passar dos anos, como causador de grandes problemas urbanos em relação ao meio ambiente e à degradação dos remanescentes florestais urbanos, hoje espalhados em pequenos fragmentos pela cidade. Estes são mais comuns nas periferias do que no centro urbano da cidade, mas isso não significa que, por estarem localizados na periferia, estejam livres da degradação; pelo contrário, já vêm sendo ameaçados pelo avanço populacional seguido da construção de edificações diversas.

Costa (2006) também relata que seu interesse pelo estudo dessa região surgiu pelo fato de que o Governo do Estado de São Paulo, no início dos anos 2000, se mostrou interessado na área para a construção de um local de distribuição de mercadorias, que seria um bom negócio associado ao enorme projeto do Anel Rodoviário (Rodoanel). A falta de comprometimento com os remanescentes florestais urbanos despertou a necessidade de mobilização da população local contra essa implantação. Assim, o autor relata que o objetivo do estudo era fornecer aos interessados informações que pudessem auxiliar no combate ao avanço da destruição dos remanescentes florestais. Essa iniciativa da população teve resultados positivos, visto que a partir do ano de 2006 a fazenda passou a se chamar Parque TIZO e

atualmente conta com mais de 1 milhão m² de área preservada protegida por uma lei estadual que garante a preservação e barra o avanço da degradação.

2.2. Veículos Aéreos Não-tripulados

O surgimento constante de novas tecnologias influencia o comportamento humano (RAO; GOPI; MAIONE, 2016). Pode-se citar como exemplo presente em nosso cotidiano o aparecimento da Internet, que possibilitou o surgimento das redes sociais e permitiu a troca de mensagens simultâneas de forma dinâmica pelo mundo. Uma outra tecnologia de grande impacto que vem dominando os céus corresponde a aeronaves não tripuladas equipadas com vários sensores embarcados que permitem a conexão à tecnologias de ponta como a Internet, capazes de realizar trabalhos que seriam praticamente impossíveis se fossem tripuladas por seres humanos. Esses veículos não tripulados são chamados de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT), também conhecidos popularmente como *drones*.

Segundo a análise de Melo (2015) a origem do VANT é militar, tendo sido há pouco tempo legalizado para uso civil em aplicações industriais e agrícolas, na captação de imagens cinematográficas, no monitoramento de matas e florestas e em outros segmentos. Para o controle desse aparato voador, órgãos responsáveis criaram regulamentos e normas garantindo o uso de forma prudente e segura, respeitando a vida humana e propriedades privadas, a partir da fiscalização e da punição por uso indevido (AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL, 2017).

Termos como VANT e *drone* são utilizados para qualquer equipamento voador não tripulado, independentemente de seu porte, que podem ser controlados remotamente por meio de rádio frequência ou programados para voar de forma autônoma com auxílio de GPS (*Global Positioning System*), com o qual se estabelece o posicionamento do equipamento através das coordenadas geográficas (MELO, 2015). Muitas vezes, depara-se com objetos voadores de pequeno porte sendo utilizados de forma recreativa. Por conta disso, existe uma grande variedade de escalas e modelos disponíveis no mercado, o que diferencia tantos modelos uns dos outros é a aplicabilidade (MELO, 2015).

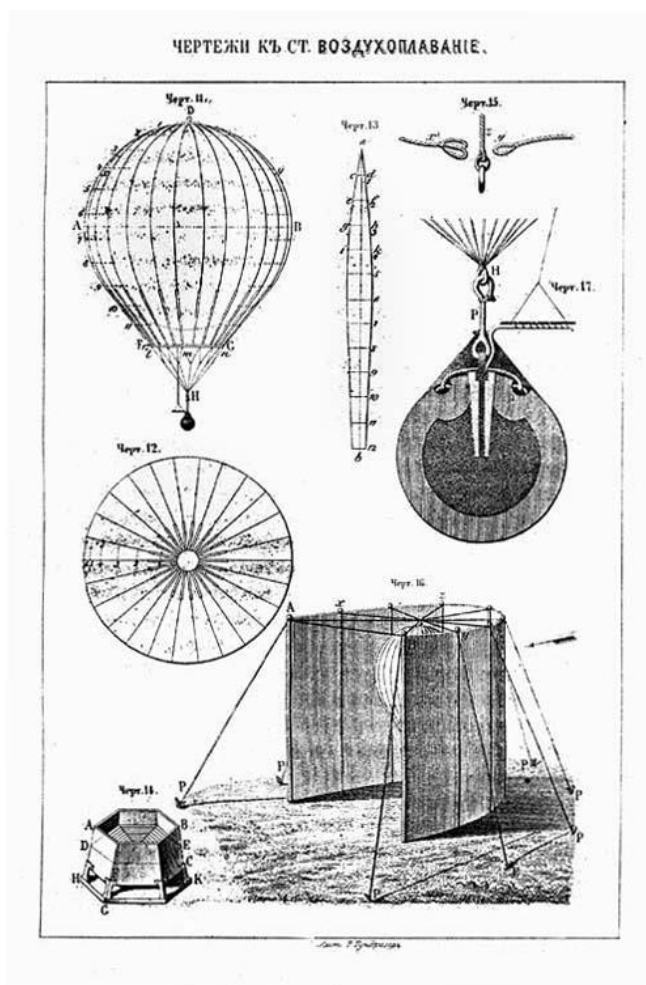
Segundo Longhitano (2010), as tecnologias eletrônicas aplicadas a esses objetos voadores, até onde se sabe, são mais antigas que a própria invenção do avião tripulado que conhecemos nos dias de hoje. O VANT é uma tecnologia que surgiu na guerra no século XIX, mais especificamente em 1849, entre os países da Áustria e Itália. Os austríacos estavam com dificuldade para posicionar seus soldados e armamentos para atacar cidade de Veneza nas terras italianas acidentadas, então um tenente do exército austríaco ordenou que cerca de 200 balões cheios de ar quente se deslocassem em direção à cidade de Veneza de forma silenciosa, carregados com explosivos (REMOTE PILOTED AERIAL VEHICLES, 2003). Dispositivos temporizados de acionamento automático estavam preparados para desprender as bombas acopladas aos balões em aproximadamente 30 minutos, que era o tempo estimado para que os balões chegassem ao destino. Esses dispositivos eram fusíveis alimentados por uma célula galvânica, conhecida popularmente por pilha ou bateria (SIMONI, 2007), que disponibilizava tensão elétrica suficiente para que o fusível gerasse pulsos elétricos que determinavam o momento da soltura das bombas. Quando soltos, os explosivos caíam sobre o território italiano e causavam grandes danos.

Por vezes, esse tipo de manobra foi considerado arriscado por haver incertezas quanto à direção para onde os balões seguiriam (REMOTE PILOTED AERIAL VEHICLES, 2003). O deslocamento desses balões pelos céus da Itália em direção à cidade de Veneza dependia da rota e da velocidade do vento, e nem sempre esses fatores favoreciam o ataque, uma vez que não ventava em uma única direção. Por essa razão, alguns balões retornavam para o local de origem e eram detonados ou mesmo explodiam em outra localidade, o que não era o objetivo (AVELLAR, 2014).

Todo o aparato explosivo e a forma como se deslocava pelos céus podem ser vistos no filme *“On a Wind and a Prayer”*, que mostra seu deslocamento pelos céus da América do Norte, onde foram disparados pelo Japão (REMOTE PILOTED AERIAL VEHICLES, 2003).

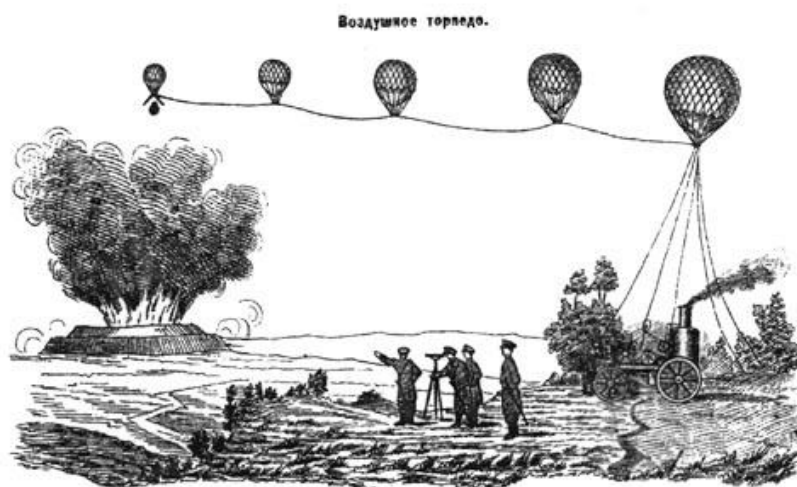
As Figuras 2 e 3 contém imagens de procedência russa que mostram os dispositivos e como eles eram conectados aos balões. Analisando sua aparência, intuito e modo de funcionamento, é fácil perceber a relação entre os balões e o VANT.

Figura 2 – Ilustração bomba e balão



Fonte: REMOTE PILOTED AERIAL VEHICLES (2003)

Figura 3 – Destaca os balões atacando em 1880



Бомбардировка с аэростата. "Воздушное торпедо" О. С. Костовича.

Fonte: REMOTE PILOTED AERIAL VEHICLES (2003)

Segundo AVELLAR (2014), o VANT é um equipamento que possui todos os sensores e necessários para que o voo seja possível. Já o Sistema de Veículo Aéreo Não Tripulado (SISVANT) é o VANT que inclui os componentes acessórios que nada mais são do que os recursos de monitoramento, como câmeras que possibilitam a transmissão de imagem para a base em tempo real, sensores de acionamento remoto, enfim, equipamentos que possam ser úteis e transportados pelo VANT. Em meados da década de 1980, os americanos desenvolveram um SISVANT mais sofisticado com mais recursos tecnológicos, mais equipamentos e maior poder de decisão chamado AQUILA, uma máquina voadora sofisticada equipada com sensores de tecnologia de ponta. Porém o investimento seria tão grande que o projeto acabou ficando caro demais para as contas americanas, o que inviabilizou seu processo de produção.

Com o progresso tecnológico, um importante recurso foi incorporado aos VANTs: o GPS, que possibilitou um grande avanço na tecnologia voadora, pois viabiliza voos com maiores distâncias, descartando a necessidade de utilização de rádios controles de curto alcance e sistemas de componentes de rota pré-programada. Nessa mesma época, a Agência Espacial Norte Americana (NASA), em parceria com a *Environmental Research Aircraft and Sensor Technology* (ERAST) e industriais, desenvolveu e aprimorou tecnologias mais avançadas, motores mais potentes, melhores sensores, pesquisas mais focadas na autonomia, tudo para atender as mais diversas aplicações estavam sendo cada vez mais exigidas dos VANTs. Desse modo, a tecnologia deu um salto de popularidade e se tornou mais confiável aos olhos das pessoas que tinham interesse pelo aparato voador (AVELLAR, 2014).

Em meados dos anos 2000, o governo dos Estados Unidos modificou o sinal do GPS para um aumento de precisão, revolucionando o mercado dos VANTs. Em paralelo, as forças armadas dos EUA continuavam utilizando esses equipamentos para guerras, o que tornou essa tecnologia ainda mais popular, porém temível. (AVELLAR, 2014)

Pode-se citar como exemplo da evolução dos VANTs o *drone* RQ-4 GLOBAL HAWK (Figura 4), um dos *drones* mais completos do mundo, capaz de percorrer grandes distâncias e equipado com sensores de vigilância e de reconhecimento (MILITARY.COM, 2017).

Figura 4 – RQ-4B Global Hawk



Fonte: Military.com (2017)

Existem vários tipos, tamanhos e modelos de VANTs disponíveis. Podem ser movidos por bateria ou combustão de gases como nitrometano, gasolina, metanol, ou até mesmo o gás hélio, geralmente utilizado por dirigíveis. (MILITARY.COM, 2017)

Outro exemplo de modelo de VANT é o hidroavião de pequeno porte (Figura 5) que flutua com o auxílio de flutuadores presos em suas asas e da impermeabilidade do casco. Esse VANT é guiado por radiofrequência e tem a facilidade de decolar e pousar na água de rios e lagos, podendo, por exemplo, coletar água para análise (FLYZONE, 2017).

Figura 5 – TIGEWATER



Fonte: Flyzone (2017)

Outro modelo é o aeroplano Glider 3500, (Figura 6), que permite voos em grandes altitudes por se sustentar utilizando suas grandes asas com envergadura de mais de 3 metros, admitindo um voo mais estável e proporcionando mais tempo de autonomia (PHOENIX MODEL, 2017). Uma aplicação para esse VANT seria a fixação

de uma câmera embarcada com um equipamento de transmissão de imagem em primeira pessoa, que possibilita que o usuário veja em uma tela LCD ou mesmo utilizando óculos de visão 3D que possuem um receptor para receber essas imagens em tempo real.

Figura 6 – Aeroplano Glider 3500



Fonte: Phoenix Model (2017)

Existem modelos de VANTs que atingem altas velocidades, capazes de se deslocar pelo ar a mais de 200Km/h, mas sua autonomia é comprometida pela energia exigida pela hélice, que necessita de um enorme empuxo para mover o aparato, e pelo arrasto, que faz com que o VANT se desloque com mais dificuldade. (PHOENIX MODEL, 2017)

Outro modelo, guiado remotamente por radiofrequência (2.4GHz), é conhecido como jato elétrico *ElectriFly Evader Ducted Fan Sport Jet* (Figura 6). Esse é um VANT de pequeno porte e é impulsionado por uma pequena turbina elétrica de 56mm de diâmetro, podendo atingir uma velocidade de aproximadamente 320Km/h (DRONE STORE, 2010).

Figura 7 – ElectriFly Evader Ducted Fan Sport Jet



Fonte: Drone Store (2010)

Pode-se destacar também o Asas Zagi (Figura 8), conhecido por sua boa capacidade de planeio e utilizado para o monitoramento de lavouras. Esse VANT é movido a bateria e tem dois servo-motores responsáveis pelos movimentos, com um motor de 2330KV, sendo capaz de se deslocar em baixa ou alta velocidade. Ele é feito de espuma EPP (Polipropileno), material muito leve e resistente a queda, controlado por radiofrequência 2.4GHz e embarcado com *FPV (First Personal Vision)* que possibilita a visão em primeira pessoa (HOBBYKING, 2017).

Figura 8 – S800 Sky Shadow-S FPV Flying Wing 820mm



Fonte: HobbyKing (2017)

2.3. Utilização de VANTS em aplicações ambientais

Zhang et al. (2016) afirmam que o *drone* vem se destacando fortemente em vários segmentos e despertando a curiosidade das mais diversas áreas, como por exemplo a área ambiental. Esse segmento necessita de uma atenção maior no que diz respeito à preservação florestal, porém o monitoramento adequado das florestas requer um grande investimento. Um dos grandes problemas desse monitoramento são os métodos convencionais para pesquisas, que muitas vezes são de alto custo.

Um exemplo é mobilização de equipes especializadas para exaustivas caminhadas entre a vegetação, considerando terrenos acidentados e ainda tendo como obstáculo real à invasão de um ecossistema intocado e de difícil acesso que impossibilita um mapeamento fidedigno da área e oferece riscos a todos que adentram a floresta (ZHANG et al, 2016).

Pode-se citar como exemplo de monitoramento ambiental uma contagem de árvores feita na Ilha de Barro Colorado no Panamá, que possui uma parcela de floresta de aproximadamente 50 hectares, conforme informado pelo Centro de Ciências Florestais Tropicais (SMITHSONIAN TROPICAL RESEARCH INSTITUTE, 1980). Foi enviado um grupo de pessoas a essa floresta para fazer a contagem das árvores e verificação de clareiras, atividade que levou aproximadamente 3 anos para sua conclusão. Visto isso, pode-se atestar que esse tipo de método de monitoramento florestal é bastante difícil de ser praticado (ZHANG et al., 2016, CONDIT, 1998).

Para Zhang et al. (2016) existem outras práticas tecnológicas que ajudam no monitoramento e preservação das florestas, como por exemplo o monitoramento via satélite. Porém, no aspecto financeiro, as despesas para manter essa atividade constantemente são elevadas, dificultando ou impossibilitando a aquisição desses recursos pelos pesquisadores e colaboradores. Nesse contexto, os VANTS de pequeno porte foram recentemente adotados por pesquisadores para ajudar na avaliação das florestas, já que esse veículo tem um custo bem inferior ao das tecnologias disponíveis existentes e proporciona varreduras de uma área com mais frequência, como por exemplo o monitoramento com voos constantes sobre as matas com o objetivo de contribuir com a preservação dos animais silvestres que ali habitam

e da vegetação nativa, inibindo exploradores de madeira e caçadores de animais selvagens.

Na tentativa de unir esforços para um monitoramento mais eficaz, Zhang et al. (2016) destacam que foram desenvolvidos vários *sítes* que possuem recursos que auxiliam na pesquisa e conscientização da preservação ambiental, como o site Neon de monitoramento remoto, que permite acesso gratuito às informações de diferentes lugares, contribuindo no cuidado ambiental, apesar de sua cobertura não ser tão abrangente; e a plataforma de monitoramento criada pela NASA chamada *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS), que também atua no monitoramento ambiental.

O monitoramento florestal se dá, majoritariamente, em regiões mais desenvolvidas economicamente, uma vez que necessita de altos investimentos. Nas regiões mais pobres existe uma grande deficiência na aplicação de técnicas de monitoramento florestal, em virtude dos altos custos associados. (ZHANG et al., 2016, MARTIN; BLOSSEY; ELLIS, 2012).

De acordo com Zhang et al. (2016), partindo desse contexto, a China adotou a tecnologia *drone* para auxiliar no monitoramento de uma parcela de cerca de 20 hectares da Floresta Subtropical localizada na cidade de Dinghushan. O *drone* tem a finalidade de sobrevoar a floresta num plano de voo pré-estabelecido pelo usuário. Para fazer esse monitoramento, foi utilizado o modelo MD4-1000 (Figura 9), um *drone* de pequeno porte e de baixo custo equipado com 4 hélices e um sistema autônomo embarcado que garante o trajeto durante o voo.

Figura 9 – MD4-1000



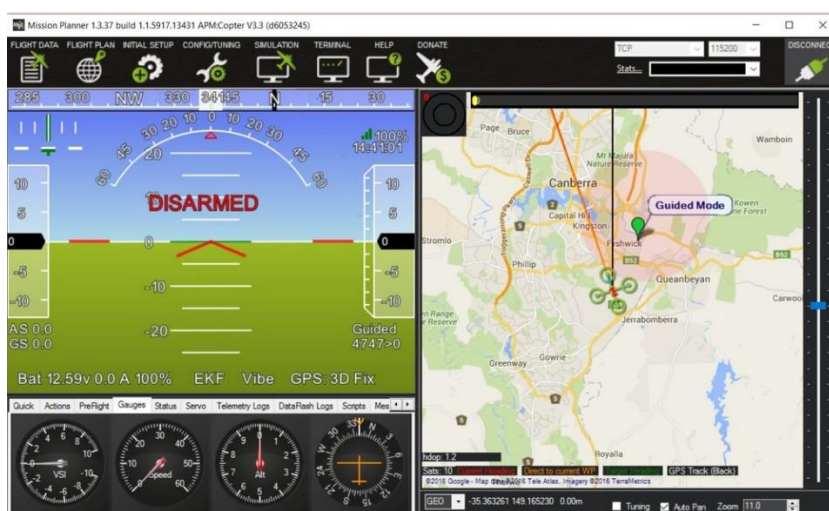
Fonte: Microdrones (2017)

No processo de coleta de imagens por *drone*, é preciso seguir alguns passos para garantir o máximo de qualidade na captura de imagens da área escolhida. A princípio, o interessado escolhe a área de maior importância para o início do voo, escolhe os parâmetros existentes na base operacional configurável chamada *ground station* (estação terrestre), que pode ser instalada e acoplada à placa controladora ou também disponível em uma única placa agregada ao *ground station*. Ambas as placas têm a mesma função de “cérebro” do aparato voador, que controla a rotação dos motores e a velocidade de deslocamento do *drone*. Enfim, toda a funcionalidade do *drone* está sob responsabilidade desse dispositivo programado pelo usuário através de um *software* conhecido como *way point* que determina a rota do *drone*. O *way point* realiza essa tarefa auxiliado pelo GPS, que informa as coordenadas geográficas via satélite, e pelo *Google Earth*, que disponibiliza as imagens na tela do *smartphone*, *tablet* ou *notebook* do usuário (ZHANG et al., 2016; EZEQUIEL et al., 2014; ALMEIDA, 2015).

As placas controladoras são programáveis e desenvolvidas para se comunicarem com a plataforma *open-source* (código aberto) *Mission Planner*, que facilita ao usuário a configuração do voo (EZEQUIEL et al., 2014; ALMEIDA, 2015).

Na Figura 10 é apresentada a plataforma de configuração do VANT autônomo. Nela, é possível carregar as missões autônomas que o usuário quer executar e visualizar pelo *Google Maps* ponto a ponto pelo computador.

Figura 10 – Plataforma Mission Planner



Fonte: Mission Planner Overview (2016)

Um exemplo de placa controladora é a PIXHAWK (Figura 11), que controla o deslocamento e trajetória do *drone* de forma autônoma (JACINTO, 2016).

Figura 11 – PIXHAWK



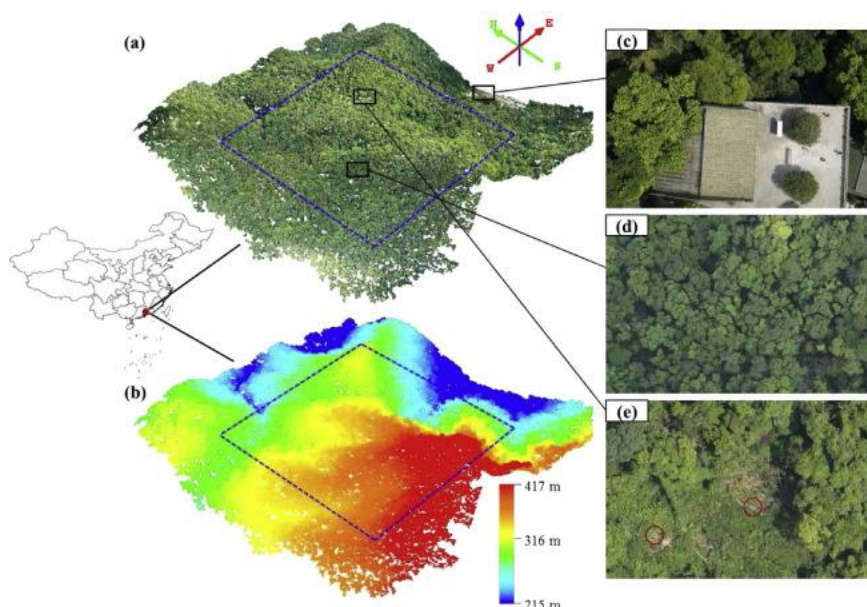
Fonte: 3D ROBOTICS (2017)

Essa placa controladora é programável em *Linux* e permite que o usuário configure os sensores embarcados, como giroscópios, motores *brushless*, acelerômetros e magnetômetros, todos primordiais para que o voo atinja seu objetivo por serem responsáveis por manter a rota, a altitude, velocidade e outros parâmetros importantes (JACINTO, 2016).

Guiado pelas informações disponibilizadas pelo GPS, o *drone* se desloca sobre o local escolhido com a capacidade de proporcionar um voo estável o suficiente para a coleta de imagens mais precisas e com menos imperfeições (JACINTO, 2016). O *drone* munido com uma câmera de alta definição embarcada é capaz de obter imagens da vegetação, dos animais e do dossel da floresta (GÓMEZ-CANDÓN, D.; DE CASTRO, A. I.; LÓPEZ-GRANADOS, 2014). Na maioria das vezes, essas imagens são coletadas e armazenadas em um cartão micro memória inserido na câmera que está embarcada no *drone*. Posteriormente, essas imagens são descarregadas no computador para serem analisadas e manipuladas por um usuário através de um *software* de processamento de imagens. Um exemplo bastante utilizado desse tipo de *software* é o Pix4dmapper, que utiliza um método chamado ortomagem, também conhecido entre os profissionais como ortomosaico, que são fotos sobrepostas capturadas pela aeronave. Esse método possibilita a correção digital das imagens deformadas pela altitude e velocidade do *Drone* (GÓMEZ-CANDÓN, D.; DE CASTRO, A. I.; LÓPEZ-GRANADOS, 2014; BASTIAN, 2013).

A Figura 12 ilustra níveis de relevo da Reserva Nacional Dinghushan na China, a área de estudo do autor, e corresponde a 20 hectares da floresta monitorados por *Drone* (ZHANG et al., 2016), dos quais foram coletadas imagens de MDT (Modelo Digital de Terreno), que é um modelo muito utilizado para representar o relevo do solo estudado. Para a configuração do deslocamento do *Drone* sobre a Floresta Subtropical Dinghushan foi utilizado o *software* mdCockpit, que é do mesmo segmento do *software* Mission Planner. As imagens foram manipuladas com a ajuda do *software* PIX4Dmapper utilizando várias técnicas como ortomagem, ortomosaico e tratamento de imagem para a visualização do terreno, do dossel e das falhas existentes na floresta.

Figura 12 – Foto aérea da floresta subtropical da china



Fonte: ZHANG, et al. (2016)

Segundo Aguirre (2017), a chegada da Internet das Coisas (*Internet of Things* - IoT) que é um conjunto de várias tecnologias associadas formando um sistema, possibilita a conexão e comunicação entre servidor de comando e equipamentos com a intenção de proporcionar maior comodidade aos usuários. Para ele, a IoT contém tecnologias de fácil acesso e com vários fatores positivos, como a mobilidade e a facilidade de se adequar à maioria das situações de negócios, sejam na área hídrica ou climatológica. Em outras palavras, em qualquer negócio desse segmento a IoT permitirá o gerenciamento e arquivamento adequado dos dados adquiridos em campo em tempo real pelos dispositivos. Pode-se citar a

radiofrequência (RF) que, quando integrada a um microcontrolador, possibilita o envio dos dados *point-to-point*, armazenando esses dados em uma central de monitoramento ou servidor de acesso remoto onde o usuário poderá se conectar de qualquer lugar do mundo.

Valente (2011), afirma que a IoT é um modelo a ser seguido pelo potencial de conectar a realidade física ao mundo virtual, ou seja, conectar coisas físicas do mundo real a aplicações virtuais através de softwares. Essa interligação pode ser através de vários periféricos, tanto por leitores de código de barras; por *Radio-Frequency Identification* (RFID), que utiliza a radiofrequência de curto alcance cujo a acionamento é através de etiquetas codificadas; por NFC inseridos nos *smartphones* pelo mundo, que torna possível a comunicação do *smartphone* com diversos equipamentos por aproximação; entre outros dispositivos.

Conforme Silva (2017), a IoT deverá ter uma demanda de conexão de dispositivo na casa dos 50 bilhões de equipamentos conectados entre si, trocando informações úteis de controle por meio de redes sem fio. Dessa forma, para o autor, essa comunicação poderá ter o mesmo sucesso que atingiu a Internet, em se tratando de conectividade entre objetos. A IoT permite a interligação de equipamentos de diversos tipos, como carros, portarias eletrônicas e afins, *smartphones* com aplicativos que informam os condutores dos carros sobre as condições do asfalto, ou mesmo um sensor instalado no mar informando o tempo todo as condições da água do mar para banhistas nas praias.

Na busca de soluções mais acessíveis, a tecnologia dos VANTs também pode ser inserida em pequenas áreas rurais, permitindo que pequenos produtores capturem dados de enchentes, por exemplo. No entanto, é possível que o relevo atrapalhe na comunicação entre rádios, e a solução desse problema pode custar vários milhares de reais. Nesse contexto, as tecnologias para o sistema IoT trouxeram uma perspectiva diferente, menor custo e mais agilidade, já que o equipamento, além de poder sobrevoar terrenos irregulares e se deslocar facilmente, utiliza a internet para se conectar a um sistema supervisorio disponível na nuvem. Tais características dispensam investimentos custosos de infraestrutura física na propriedade (AGUIRRE et al, 2017).

2.4. Regulamento Brasileiro para Veículos Aéreos Não Tripulados

Conforme H. Oliveira (2015), é de responsabilidade da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) a criação e cumprimento das regras, leis e fiscalização dos VANTs. Já o Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DCEA) fica responsável pelas atividades da aviação civil, gerenciamento, navegação, planejamento e controle das aeronaves que circulam no espaço aéreo nacional brasileiro. A ANAC publicou no dia 2 de maio 2017 o Regulamento Brasileiro de Aviação Civil Especial nº 94 (RBAC-E94), o qual dita as normas que regem o voo dos VANTs no território brasileiro, algumas das quais são mencionadas a seguir.

A norma RBAC-E94.1 (AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL, 2017) dita que todo veículo aéreo não tripulado utilizado por civis é proibido de circular no território brasileiro sem a devida autorização da ANAC. A mesma norma informa que nenhuma aeronave não tripulada poderá circular sem documentos como certificado de cadastro, certificado de matrícula ou certificado de marca experimental. Para habilitar e autorizar os usuários a controlar o equipamento, a ANAC disponibilizou, em seu *site*, um formulário a ser preenchido. Para se cadastrar no site da ANAC, é necessário informar os dados pessoais do usuário, como nome completo, endereço residencial e CPF, além de informar se o *Drone* será utilizado para uso recreativo ou comercial, informar o fabricante, modelo e enviar uma foto do equipamento.

O item 3 da norma RBAC-E94.3 (AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL, 2017) adverte que a distância de terceiros em relação ao VANT não deve ser menor que 30 metros horizontalmente. Somente não será necessário seguir essa regra caso houver uma proteção ou obstáculo suficientemente segura em que o observador não esteja em risco de acidentes. O item 11 da mesma norma estabelece que pessoas não-essenciais para a operação do aparato voador que estejam observando-o por vontade própria assumem o risco em caso de um acidente.

De acordo com a ANAC, as categorias de VANTs chamadas *Remotely Piloted Aircraft* (RPA) e *Remotely Piloted Aircraft Systems* (RPAS) devem possuir certificação dos equipamentos, licença para pilotagem e habilitação devidamente aprovada pela ANAC. Conforme o item (a) da norma RBAC-E94.5 (AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL, 2017), a classificação dos RPA e RPAS se dá de

acordo com o Peso Máximo de Decolagem (PMD) em quilos. Dessa forma, pode-se considerar as seguintes classes:

- Classe 1: Corresponde ao PMD de 150 kg ou mais.
- Classe 2: Corresponde ao PMD maior que 25 kg e menor ou igual a 150 kg.
- Classe 3: Corresponde ao PMD menor ou igual a 25 kg.

Os VANTs abaixo de 250 gramas não necessitam ser cadastrados na ANAC.

A norma RBAC-E94.7 (AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL, 2017) rege que é de inteira e total responsabilidade do piloto remoto qualquer resultado negativo que venha acontecer durante o evento onde o VANT estiver sendo utilizado.

O item (a) da norma RBAC-E94.9 (AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL, 2017) ressalta que todo e qualquer usuário deve ser maior de 18 anos de idade para pilotar o VANT. Item (b) dessa mesma norma informa que todos os pilotos das classes 1 e 2 necessitam de exames médicos concedidos pela unidade médica da própria aeronáutica. O item (c) declara que todos os VANTs que voarem acima de 400 pés, ou seja, 120 metros acima do nível do solo, devem possuir licença e habilitação emitida e validada pela ANAC.

De acordo com o item (a) da norma RBAC-E94.103 (AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL, 2017), é estritamente proibido o transporte de pessoas, animais ou cargas proibidas. A proibição não se aplica a setores como agricultura, horticultura, florestais, controle de avalanches, controle de obstrução por gelo e deslizamento de terra ou controle de poluição. A norma permite que periféricos eletrônicos sejam transportados desde que estes sejam utilizados para funcionamento do aparato voador no momento do voo, ou seja, todo equipamento embarcado, como máquinas fotográficas que necessitam de bateria lítio ou filmadoras, pode ser usado. O usuário não estará livre de punição caso esteja transportando equipamentos proibidos citados em outro regulamento da ANAC.

Conforme o item (b) da norma RBAC-E94.103 (AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL, 2017), é proibida a operação autônoma de aeronaves não tripuladas

de maneira descuidada. O item (d) da mesma norma dita que para todo VANT acima de 250 gramas de PDM que não seja utilizado para uso recreativo é obrigatório o seguro que cubra danos a terceiros. Os únicos equipamentos que estão isentos dessa obrigatoriedade são os veículos pertencentes ao Estado.

O item (a) da norma RBAC-E94.109 (AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL, 2017) dita que antes de iniciar qualquer procedimento de voo com o VANT é necessário checar as condições do clima, como vento, chuva e outras atividades climáticas, para garantir a autonomia de voo desde sua decolagem até o pouso.

De acordo com o item (a) da norma RBAC-E94.113 (AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL, 2017), um VANT operado com Certificado de Autorização de Voo Experimental (CAVE) que possui o PMD acima de 25 kg e deseja voar acima de 400 metros necessita de permissão para voo tanto da ANAC quanto do DECEA.

A norma RBAC-E94.509 (AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL, 2017) trata de validade de certificados específicos da ANAC. Para categorias especiais ou restritas, a validade é por tempo indefinido desde que sigam as regras estabelecidas, sendo que o descumprimento destas poderá acarretar a suspensão por tempo indeterminado ou mesmo a cassação do certificado de aeronavegabilidade. Certificados para voos experimentais voltados para pesquisas, aprendizagem de pilotos e outros do gênero têm duração de um ano, exceto por determinação de data menor pela ANAC.

O item (a) da norma RBAC-E94.17 (AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL, 2017) dita que o não cumprimento das regras estabelecidas pode acarretar em punições conforme Art. 290 que rege o RBAC-E94, o qual dita que “A autoridade aeronáutica poderá requisitar o auxílio da força policial para obter a detenção dos presumidos infratores ou da aeronave que ponha em perigo a segurança pública, pessoas ou coisas, nos limites do que dispõe este Código” (BRASIL, 1986).

A ANAC, caso achar necessário, tem o poder de suspender temporariamente o usuário caso tenha detectado eventos que configurem descumprimento das regras, para que o indivíduo não promova ainda mais prejuízos imediatos ou futuros.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo, será abordada a metodologia empregada para o desenvolvimento do VANT e para o monitoramento de um remanescente florestal urbano, mais especificamente a Mata do Quilombo, localizada no distrito de Barão Geraldo (Campinas – SP)

3.1. VANT escolhido

Neste trabalho, a metodologia proposta para o monitoramento de remanescentes florestais urbanos é baseada na utilização de um VANT.

Antes de qualquer outra coisa, foi necessário adquirir a autorização para a condução do VANT. A autorização é uma exigência dos órgãos responsáveis pelo espaço aéreo brasileiro, a ANAC e o DECEA, conforme discutido na seção 2.4 deste trabalho. Conforme regras estabelecidas por esses órgãos, todo aparato voador não tripulado acima de 250 gramas conduzido de forma remota ou autônoma, de uso recreativo ou para fins lucrativos, deve estar cadastrado junto a esses órgãos. A autorização para o VANT utilizado neste trabalho encontra-se no Apêndice G.

O modelo de *drone* empregado é um quadricóptero de pequeno porte modelo F450 marca DJI equipado com sensores que coletam dados de grandezas ambientais. Munido com uma placa controladora configurável da marca *NAZA-M lite*, é possível ao usuário escolher diversas opções de voo disponíveis para este modelo. A Figura 13 ilustra o quadricóptero F450 da DJI utilizado no monitoramento.

Figura 13 – Vant utilizado no monitoramento



Fonte: Alves et al., 2016c.

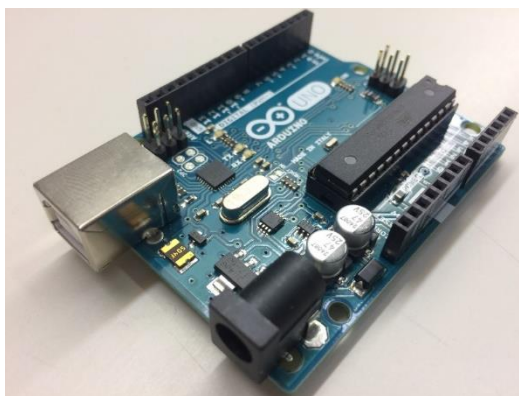
As grandezas ambientais coletadas são a temperatura do ar, a umidade do ar e a luminosidade. Além disso, são coletadas a distância, imagens e localização geográfica.

É importante ressaltar que este trabalho propõe um monitoramento periódico (pelo menos uma vez por dia) que pode auxiliar na prevenção do avanço da degradação e do desmatamento de remanescentes florestais urbanos. Para tanto, sensores eletrônicos embarcados no VANT com diferentes funções auxiliam na captura dos dados. Os dispositivos são acionados remotamente, permitindo a comunicação entre *software* e *hardware*, possibilitando o monitoramento do remanescente à distância.

3.2. Hardware

Todo o monitoramento foi possível através da utilização de dispositivos eletrônicos embarcados no VANT (sensores, microcontrolador, etc.). Para o processamento dos dados em tempo real, fixou-se, no VANT, o microcontrolador Arduino UNO (Figura 14). O Arduino é um microcontrolador programável que permite o desenvolvimento de programação e comunicação para o controle dos sensores que monitoram a mata.

Figura 14 – Arduino UNO



Fonte – Autoria própria

Segundo McRoberts (2014), o Arduino UNO funciona com tensões de entrada que podem variar de 6 a 20 Volts *Direct Current* (DC), passando por um regulador de tensão que baixa essa tensão para 5 Volts. Pode ser alimentado por fonte de energia externa ou mesmo por USB do próprio computador. Dispõe de um microcontrolador Atmega 328p e de pinos *input/output*, podendo ser utilizados para acoplamento de sensores e diversos outros circuitos. Tanto o *hardware* quanto o *software* são *open-source*, ou seja, de livre acesso e gratuito. Pode ser utilizado para conexão e acionamento de diversos dispositivos tais como atuadores, sensores, módulos localizadores, etc.

Periféricos eletrônicos, como o *Shield* Ethernet W5100, foram desenvolvidos para trabalharem conectados ao Arduino, conforme Figura 15. O *Shield* Ethernet W5100 permite a conexão do Arduino à Internet através de um número de IP inserido no momento do desenvolvimento do código fonte. Além disso, permite a gravação de dados com a utilização de um cartão de memória inserido no *slot*.

Figura 15 – *Shield* Ethernet W5100

Fonte – Autoria própria

3.2.1. Sensores para o Monitoramento

Os sensores embarcados no VANT têm por objetivo monitorar a temperatura do ar, a umidade do ar e a luminosidade. Além disso, um sensor de distância, juntamente com fotografias, permite a detecção de possíveis áreas de desmatamento.

3.2.2. Sensor de Temperatura e Umidade do Ar

O sensor DHT22 (Figura 16) foi embarcado no VANT para a coleta das grandezas de temperatura e umidade do ar. Além de fornecer essas informações, esse sensor também pode indicar possíveis focos de incêndio durante o seu deslocamento sobre a mata (apesar dessa aplicação não ter sido o foco deste trabalho). Nesse sentido, dados coletados podem indicar um aumento repentino da temperatura e uma diminuição da umidade do ar indicando uma possível situação de incêndio.

Todos os dados coletados são enviados a um sistema supervisor que pode ser utilizado por um operador dentro de uma central de monitoramento, para análises posteriores.

Figura 16 – Sensor de temperatura e umidade



Fonte: Autoria própria

3.2.3. Sensor de Luminosidade

Conforme a referência Datasheet (1997), o sensor *Light Dependent Resistor* (LDR), ilustrado na Figura 17, corresponde a um resistor variável que altera

sua resistência conforme a incidência de luz sobre o mesmo. Uma de suas aplicações mais comuns é a utilização para acionamento automático de iluminação, seja ela residencial ou de vias públicas.

Figura 17 – Sensor de luminosidade LDR



Fonte: Autoria própria

Esse sensor foi escolhido por possibilitar a medição da luminosidade sobre a mata. A Tabela 1 apresenta suas características.

Tabela 1 – Características do Módulo Sensor Ultrassônico

LDR	Valor
Diâmetro	5mm
Tensão de trabalho	Tensão máx. 150V - DC
Resistência máxima (escuro)	1M Ω
Resistência mínima (claro)	10K Ω

Fonte: Datasheet (1997)

3.2.4. Sensor de Distância

Conforme a referência HC-SR04 User Guide (2013), o sensor Sonar Ultrassônico HC-SR04 da marca Sparkfun (Figura 18) foi desenvolvido para detectar a distância de objetos. Neste trabalho, este sensor foi utilizado para detectar possíveis áreas de desmatamento, a partir da medição da distância do mesmo em relação ao solo e à copa das árvores durante o voo. A Tabela 2 apresenta as características do sensor ultrassônico

Tabela 2 – Característica do Módulo Sensor Ultrassônico

Módulo Sensor Ultrassônico HC-SR04	Valor
Frequência de Operação	40KHz
Tensão de trabalho	5V – DC
Modulação	ASK
Alcance	2cm a 4m
Demanda de corrente	15mA

Fonte: HC-SR04 User Guide (2013)

Figura 18 – Sonar ultrassônico HC-SR04



Fonte: Autoria própria

3.2.5. Câmera e *First Personal Vision* (FPV)

Para o monitoramento do estado de degradação e das áreas de desmatamento do remanescente florestal urbano, foi utilizada uma câmera da marca GoPro modelo Hero 3+ (Figura 19) instalada no VANT, independente do Arduino. Para a captura das imagens, utilizou-se o recurso *Burst de Foto* da câmera GoPro, o qual permite tirar diversas fotos nos mais diversos intervalos de tempo, conforme o Guia GoPro Hero 3+ (2013).

Esta câmera opera em qualidade *Full HD*, possibilita a transmissão das imagens em tempo real e é conectada ao equipamento *First Person View* (Visão em Primeira Pessoa, FPV) embarcado. Ela envia as imagens em tempo real em solo, gravando, simultaneamente, em um cartão de memória inserido na câmera.

Foi utilizado um sistema de FPV da marca Boscam modelo TS832, frequência 5.8GHz – 600mW de potência, com 32 canais, com módulo TX que envia as imagens ao módulo RX, disponibilizando as imagens na tela LCD de 7" ou na tela

de um computador. As Figuras 19, 20 e 21 ilustram a câmera GoPro Hero 3+ e o FPV TS832 respectivamente.

Figura 19 – Gopro Hero 3+



Fonte: Autoria própria

Figura 20 – FPV – TX TS832 e Tela LCD 7"



Fonte: Autoria própria

Figura 21 – FPV – RX TS832



Fonte: Autoria própria

3.2.6. Módulo *Global Positioning System* (GPS)

Foi utilizado um *Shield* Módulo *GPS* (plugado ao Arduino), marca Sparkfun (SPARKFUN, 2003) para Arduino, responsável por informar as coordenadas geográficas (latitude e longitude) do local onde o monitoramento é realizado. A Figura 22 ilustra o GPS utilizado.

Figura 22 – *Shield* módulo GPS



Fonte: Autoria própria

3.2.7. Armazenamento dos Dados Coletados

As informações coletadas são armazenadas em formato de arquivo de texto em um cartão de memória conectado ao *hardware* embarcado ao VANT (Figura 15), Shield Ethernet w5100.

Os processos de coleta de informações pelo conjunto de sensores embarcados são feitos por um *software* dedicado que permite que os sensores trabalhem simultaneamente. Esse *software* foi desenvolvido especialmente para esse fim. O código desenvolvido permite que o conjunto de sensores comece suas atividades somente quando solicitado pelo usuário através do rádio controle do VANT, com uma distância máxima de 2 quilômetros sem obstrução. O código também tem a função de salvar arquivos de texto criados a partir da coleta de dados armazenados no cartão de memória, que podem ser transmitidos posteriormente através do sistema de radiofrequência de transmissão RF433MHz TX/RX e enviados a uma central de monitoramento para análise. O usuário também tem a opção de retirar o cartão de memória e inserí-lo diretamente na central de monitoramento.

De posse das informações obtidas pelos sensores embarcados no *Drone* durante o voo, antes de disponibilizar esses dados ao sistema supervisorio na nuvem (Internet), deve-se tratar os dados de forma que não apresentem problemas no momento da sua interpretação. As anomalias oriundas de interferências externas, ou provável mal funcionamento do conjunto de sensores embarcados, podem resultar em medições alteradas. O tratamento de dados anômalos é descrito na seção 3.1.1.3.

3.2.8. Transmissão dos dados

Para a transmissão dos dados do cartão de memória para a central de monitoramento, utiliza-se um sistema de rádio frequência de transmissão e recepção RF433MHz RX/TX. As características desse módulo encontram-se descritas nas Tabelas 3 e 4.

Tabela 3 – Características do Módulo TX RF433MHz

Parâmetros RF433MHz TX	Valor
Frequências	433.92MHz
Taxa de Transmissão	1Kbps
Modulação	ASK
Tensão de trabalho	3 a 12 Volts
Consumo de corrente	15mA

Fonte: On Shine (2012)

Tabela 4 – Características do Módulo RX RF433MHz

Parâmetros RF433MHz RX	Valor
Frequências	280 a 433.92MHz
Taxa de Transmissão	1Kbps
Modulação	ASK
Tensão de trabalho	5 Volts
Consumo de corrente	5mA

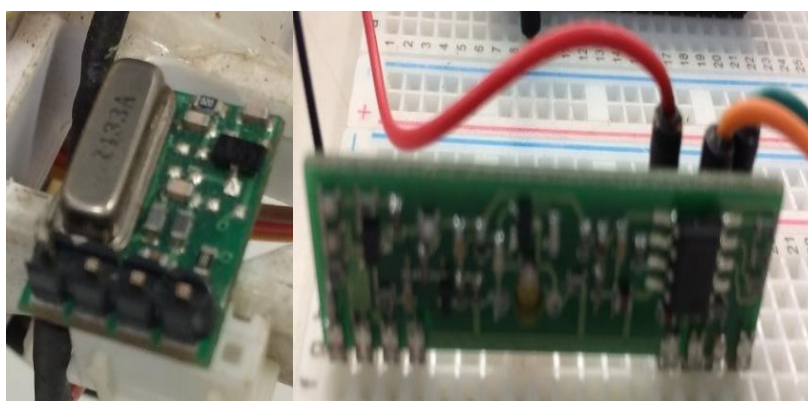
Fonte: On Shine (2012)

Conforme Datasheet Módulo RF433MHz TX (2012), para que o módulo TXA1-434-F11 funcione adequadamente, é preciso apenas um fio esmaltado de comprimento de 17.2 cm, conectado ao pino de antena do módulo. O alcance da

antena para a transmissão dos dados é de aproximadamente 150 metros sem obstáculos.

O módulo RF433MHz TX somente envia os dados quando acionada a chave do rádio HobbyKing (HK) 7X v2. Os dados são transmitidos ao RX do módulo RF433MHz, sendo armazenados em arquivo de texto em uma pasta escolhida pelo usuário. A Figura 23 ilustra os módulos RF433MHz TX/RX utilizado.

Figura 23 – Módulo RF433MHz TX/RX

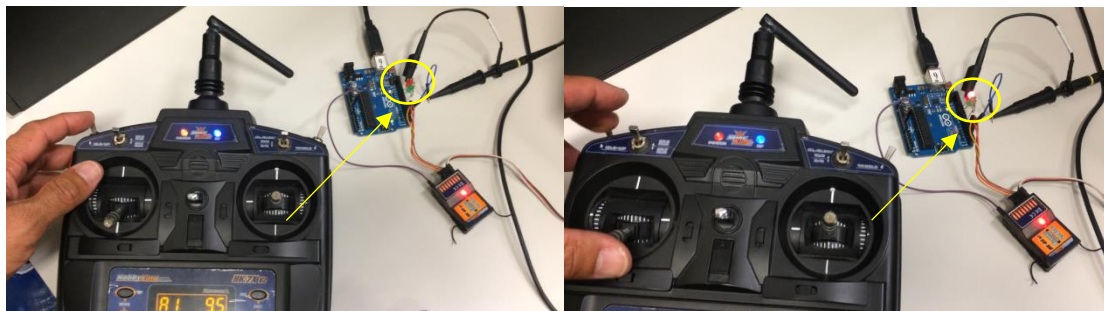


Fonte: Autoria própria

3.2.9. Procedimento para a Coleta e a Transmissão dos dados

O *Drone* possui um receptor que recebe todos os comandos remotamente, através de rádio controle convencional, com alcance de até 2 km em visada direta, ou seja, alcance obtido sem obstáculos. Neste trabalho, foi desenvolvido um método (pensando numa possível aplicação do VANT para monitoramento de áreas agrícolas) que possibilita a ativação e desativação de equipamentos elétricos remotamente, como bombas d'água, motores, portões, alarmes, dentre outros. Isso é possível utilizando uma plataforma de desenvolvimento Arduino UNO que, a partir de um código implementado, envia comandos ao receptor do VANT, conforme ilustrado na Figura 24, dispensando, assim, a necessidade de intervenção humana para esses acionamentos. Nessa figura, a recepção dos comandos pelo VANT é indicada pelo LED aceso.

Figura 24 – Comunicação Rádio controle



Fonte: Alves et al. (2016b)

Neste trabalho, foram utilizados dois equipamentos de rádio controle convencionais de 2.4GHz, sendo que um está configurado para o controle do VANT e outro para o acionamento dos sensores embarcados. O rádio controle de ativação dos sensores é configurável e permite que seja feito o acionamento, nesse caso a chave 5 do remoto. Foi utilizado um rádio controle HobbyKing 7X v2 2.4GHz. A chave 5 desse rádio controle foi configurada para acionar o canal 5 do receptor convencional HobbyKing embarcado no VANT. Este receptor está ligado ao Arduino UNO, o qual está programado para dar início a todo o processo de coleta e gravação de dados no cartão de memória. Assim, é possível gravar, no cartão de memória, os dados de todos os sensores embarcados assim que a chave é acionada.

Após a coleta dos dados, a chave 5 do rádio HobbyKing é desligada, encerrando, assim, o processo de armazenamento de dados no cartão de memória, gerando um arquivo em formato texto (.txt) com os dados de temperatura do ar, umidade do ar, luminosidade, altitude e coordenadas geográficas.

A Figura 25 ilustra o acionamento da chave 5 do rádio controle.

Figura 25 – Acionamento chave 5 do rádio HobbyKing



Fonte: Autoria Própria

Para o envio dos dados pelo RF433MHZ TX, a chave 6 do rádio HobbyKing, devidamente configurada para dar início à transmissão dos dados armazenados no cartão de memória, é acionada e, assim, se inicia o processo de envio dos dados ao RX. A Figura 26 ilustra o acionamento da chave 6 do rádio controle.

Figura 26 – Acionamento da chave 6 do rádio HK



Fonte: Autoria própria

As informações chegam ao Arduino UNO em solo via radiofrequência. Recebendo esses dados, um código desenvolvido em linguagem *python* (Apêndice C) coleta essas informações através da porta serial criando um arquivo de texto para ser utilizado em futuras análises na central de monitoramento.

Conforme previamente mencionado, a execução deste trabalho necessitou de 2 rádios controles: um rádio Futaba Fasst 7C (Figura 27) para comando e controle do *drone* e um rádio HobbyKing 7X v2 (Figura 28) para o acionamento remoto dos sensores embarcados no *drone*. Ambos trabalham na frequência de 2.4GHz e cada rádio controle dispõe de um receptor vinculado a ele. O segundo rádio foi utilizado pelo fato de não haver mais canais disponíveis no receptor de controle do *drone* para acionamento dos sensores embarcados.

As portadoras liberadas no Brasil para a utilização dos rádios para controle de *drones* são as bandas de frequência de 72MHz e de 2.4GHz, ambas portadoras homologadas pela ANATEL (MELO, 2010; FUTABA, 2012).

Figura 27 – Rádio Futaba Fasst 2.4ghz



Fonte: Autoria própria

Figura 28 – Rádio HobbyKing 7X v2



Fonte: Autoria própria

3.2.10. Multimotores

Conforme Almeida (2015), existem vários tipos e modelos de VANTs multimotores para serem utilizados em várias tarefas. Para se obter o bom aproveitamento durante a execução do voo, é preciso dimensionar a capacidade de transporte do *drone*, ou seja, a escolha do modelo e da quantidade dos motores é importante porque influencia diretamente no tempo que o *drone* irá permanecer voando e, principalmente, na estabilidade do *drone* durante o voo.

Segundo Paula (2012), os motores *brushless* (sem escova) são de alta rotação, proporcionam melhor empuxo e têm uma durabilidade maior, enquanto os motores *brushed* (com escova), são menos duráveis, possuem pouco empuxo, porém são de baixo custo em relação aos *brushless*. Levando todos esses fatores em consideração, os motores escolhidos para o monitoramento das matas neste trabalho foram os motores *brushless* da marca DJI por conta da alta rotação e melhor empuxo que, neste caso, foram considerados uma boa compensação pelo preço elevado.

A Figura 29 ilustra o motor *brushless* utilizado no trabalho, e a tabela 5 apresenta suas características.

Figura 29 – Motor Brushless 2212/920kv DJI



Fonte: DJI (2017)

Tabela 5 – Características do motor *Brushless* 2212

Peso	50g
Diâmetro do motor	28mm
Bateria	3 a 4 células

Fonte: DJI (2017)

3.2.11. Esc's

Segundo Paula (2012), para o controle desses motores, é necessário um controlador inteligente que garanta o fornecimento de energia para todos os motores desde a partida e, principalmente, durante o voo. Esses módulos são responsáveis pelo fornecimento de energia aos motores, utilizando a *Pulse Width Modulation* (PWM, modulação por largura de pulso) para controlar seu movimento.

Os Esc's escolhidos e utilizados para o controle dos motores do *drone* são da marca DJI, modelo E300 (DJI, 2017), conforme ilustrado na Figura 30. A tabela 6 apresenta as características do modelo escolhido.

Figura 30 – Esc E300



Fonte: DJI (2017)

Tabela 6 – Características do Esc E300

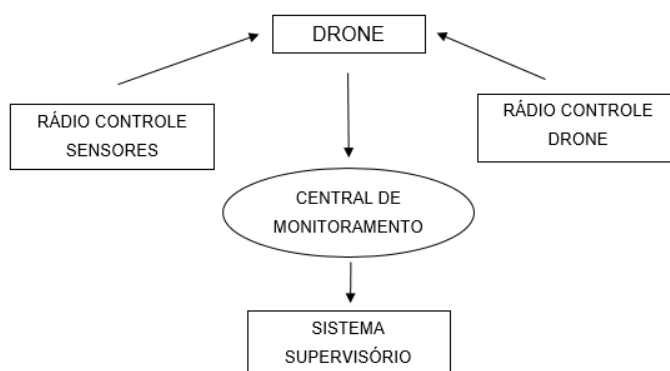
Frequência	30 a 40 HZ
Corrente Máxima	15A
Tensão	11.1 a 14.8V

Fonte: DJI (2017)

3.3. Software

O diagrama de blocos da Figura 31 ilustra a forma como é feita a pilotagem de voo (rádio controle do *drone*), acionamento dos sensores (rádio controle dos sensores), coleta de dados e transferência de dados para a central de monitoramento.

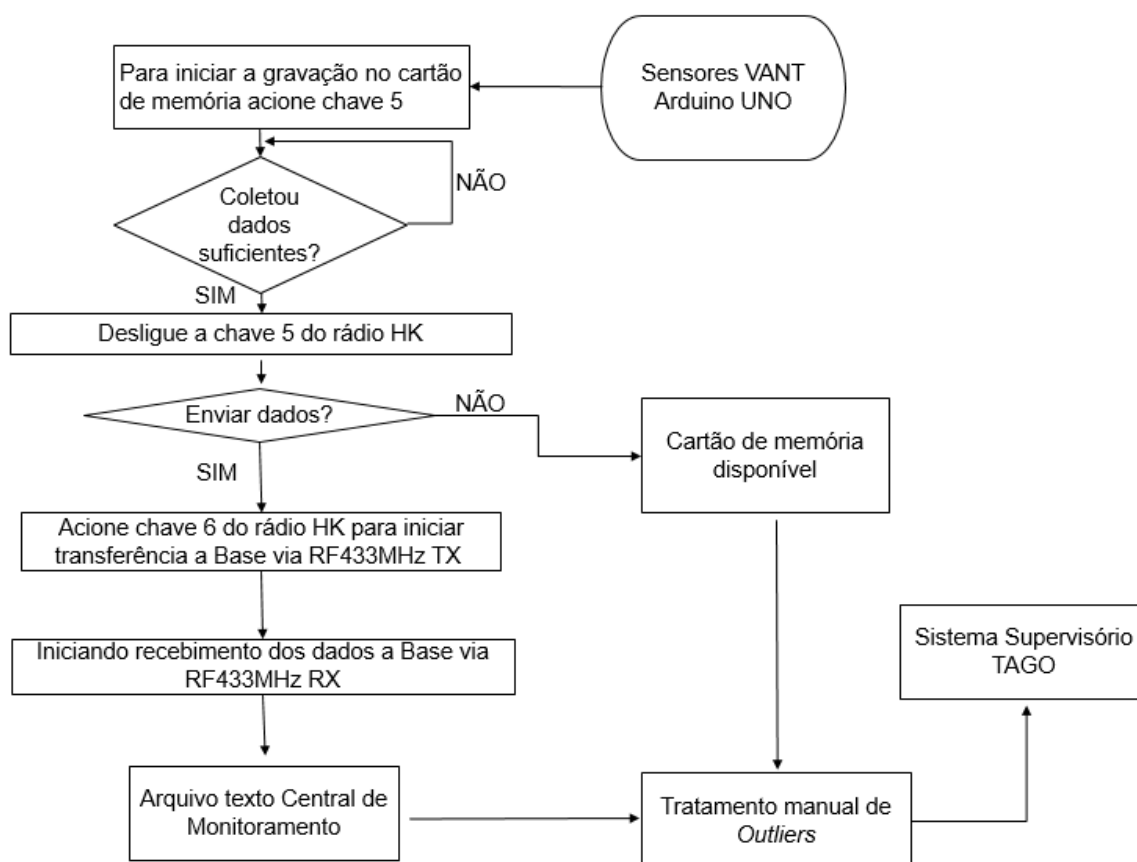
Figura 31 – Diagrama de Blocos



Fonte: Autoria própria

O *software* desenvolvido para a compilação dos *scripts*, tanto para verificação de *outlier*, tanto para envio dos dados para a nuvem, a implementação desenvolvida na central de monitoramento na linguagem *python*. Para geração de arquivos de texto no cartão de memória a partir dos dados coletados, que também faz todo o trabalho de acionamento dos sensores, armazenamento e envio das mensagens utilizando os rádios RF's 433MHz, a implementação foi desenvolvida na linguagem C. A Figura 32 ilustra um fluxograma que detalha esse processo.

Figura 32 – Fluxograma



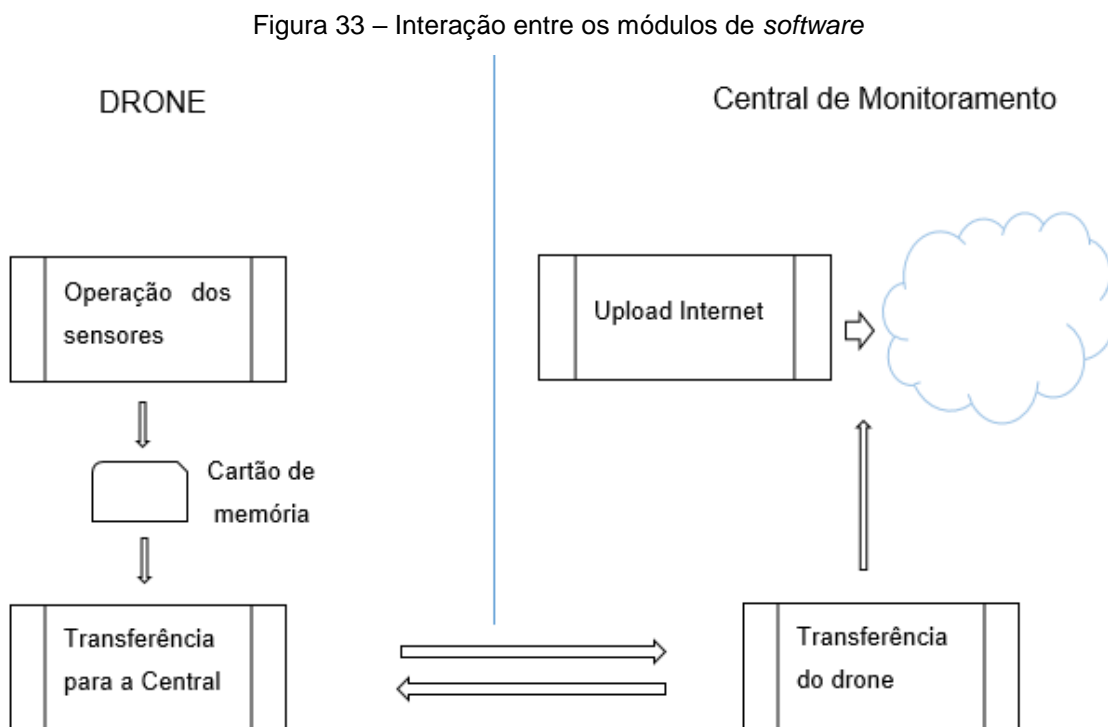
Fonte: Autoria própria

Os módulos de *softwares* que compõem esse método estão detalhados nos seguintes Apêndices A, B e C:

- *Drone*
- Operação dos sensores (APÊNDICE A).
- Transferência dos dados para a central de monitoramento (APÊNDICE A).

- Central de monitoramento
- Recebimento de dados do *drone* (APÊNDICE B).
- *Upload* de dados o sistema supervisorio da Internet (APÊNDICE C).

A interação entre os módulos de *software* é ilustrada na Figura 33:



Fonte: Autoria própria

3.3.1. Conflitos entre sensores

Durante o processo de desenvolvimento do programa do Arduino UNO embarcado no *drone*, foram detectados conflitos entre os sensores, uma vez que alguns utilizavam as mesmas portas do microcontrolador.

No desenvolvimento do VANT, foram utilizados sensores (conforme descrito previamente) que ocupam os seguintes pinos no Arduino:

- *Sonar ultrassônico HC-SR04* – Pino 16 (A2).
- LDR – Pino A0.
- Receptor de acionamento dos sensores: Pinos 5 e 6.
- Sensor de Temperatura e Umidade DHT22: Pino 9.

- *Shield Ethernet* com cartão micro *SD*: utiliza uma interface chamada SPI (*Serial Peripheral Interface*) que possibilita a comunicação dos sensores com o microcontrolador Arduino, utilizando os pinos 4, 10, 11, 12.

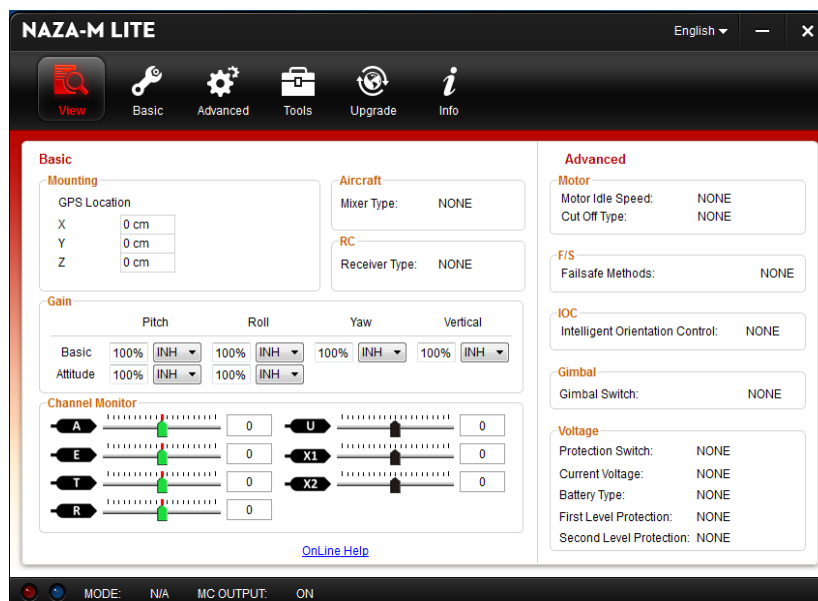
Alguns sensores conectados ao Arduino não estavam funcionando adequadamente. Após uma checagem mais detalhada, foi possível detectar conflitos entre os pinos de entrada e saída do Arduino. O motivo era que alguns sensores tinham implementados em suas bibliotecas os mesmos pinos. A solução foi acessar cada uma delas, localizar quais estavam em conflito e alterar na biblioteca as portas de forma que não conflitassem mais.

3.3.2. Configuração do rádio *drone*

Segundo a referência NAZA-M LITE User Manual (2013), para o funcionamento do *drone*, é necessária a configuração das funções do mesmo através do *software NAZA Assistant* desenvolvido pela própria marca DJI. O Assistente facilita os ajustes da placa controladora tornando possível a execução do voo. Nesse programa, é possível selecionar as mais diversas funções de modo de voo, como os diversos modelos de multimotores oferecidos pela marca, priorizando atualizações do *firmware*, configurações do GPS embarcado na aeronave, ativação de acessórios como GIMBAL, que é encarregado de garantir estabilidade da câmera durante o voo, tornando as filmagens aéreas mais perfeitas e sem vibrações.

A Figura 34 ilustra a configuração geral do VANT, como a calibração do GPS pelos eixos X, Y e Z, *go home*, *fail safe*, recursos que permitem o retorno automático do *drone*. (NAZA-M LITE User Manual, 2013).

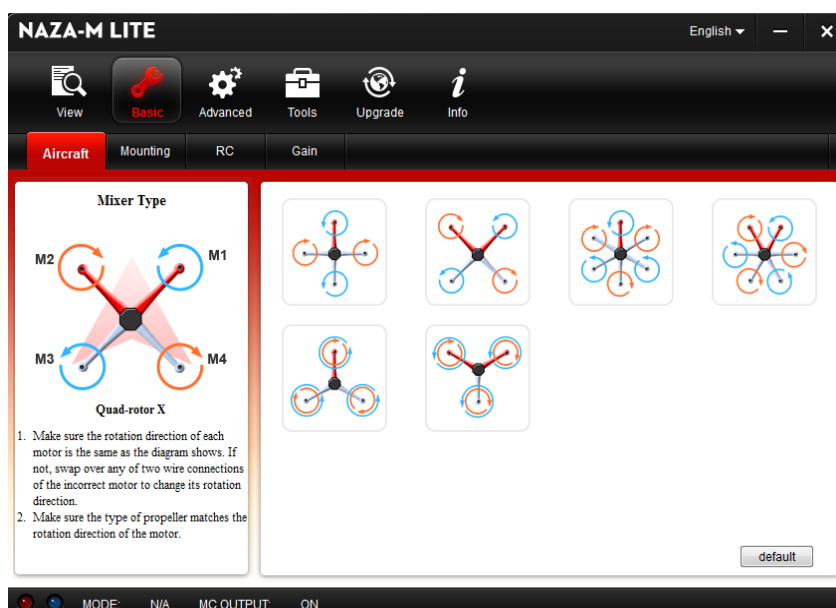
Figura 34 – Software assistente NAZA-M



Fonte: NAZA-M LITE User Manual (2013)

A Figura 35 ilustra o sistema que auxilia na configuração da placa controladora. Esse *software* permite ao usuário informar à placa controladora quantos motores estão instalados no *drone* e qual a direção frontal do VANT indicada pela flecha e pelas partes do *frame* do *drone* em vermelho. O *software* também informa o sentido em que as hélices devem girar. As configurações variam conforme o modelo escolhido pelo usuário, ou seja, se o VANT é constituído por 4 ou 6 motores.

Figura 35 – Selecionar o multimotor



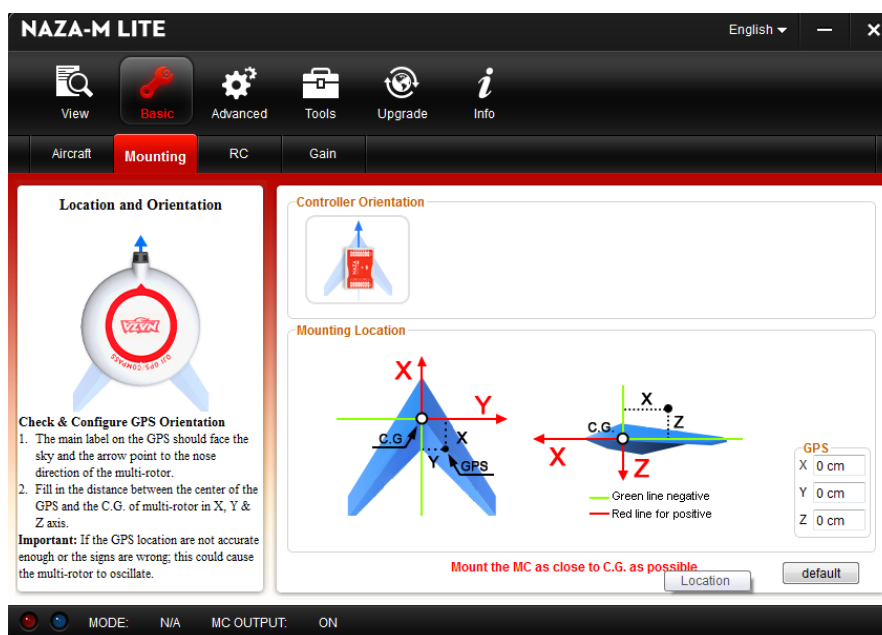
Fonte: NAZA-M LITE User Manual (2013)

Para que o usuário consiga utilizar o recurso que informa o posicionamento geográfico do VANT durante o voo, o *software* NAZA Assistant, primeiramente, requer que o usuário informe ao sistema a localização do acessório módulo *GPS/compass* instalado no VANT. Dessa forma, o acessório devidamente posicionado informa à placa controladora qual a posição exata do VANT e informa, também, a localização para onde deve retornar caso ocorra alguma emergência durante o voo. São dois procedimentos para que esse acessório funcione corretamente.

De acordo com a referência *drone* Brazil Technogoly (2016), é preciso eliminar o efeito *Ball Effect*, também conhecido como Efeito Espiral. Esse efeito prejudica o retorno do VANT quando é ativado o modo *go home* ou *fail safe*. O VANT começa a realizar círculos durante o seu retorno para pouso automático guiado pelo GPS. Esses círculos vão aumentando a cada volta, podendo colidir em qualquer obstáculo ou até mesmo em pessoas. Isso acontece porque é preciso informar ao sistema embarcado no VANT qual a sua posição em relação ao globo terrestre. Para evitar esse efeito, é necessário calibrar o acessório *GPS/compass* embarcado no VANT, que é responsável pela sua localização geográfica. Essa calibração também depende do posicionamento da placa controladora no VANT. A placa controladora possui uma seta impressa em cima da mesma que indica o lado da frente da placa. Essa seta precisa estar direcionada para a parte dianteira do VANT, ou seja, indicando a frente do VANT. No *GPS/compass* também existe uma outra seta na parte superior do mesmo que representa uma agulha de uma bússola mecânica. Deste modo a calibração do acessório terá como referência a frente do VANT como norte geográfico. Dessa forma, a agulha eletrônica do *GPS/compass* informará ao VANT a declinação magnética correta que, no caso do estado de São Paulo, é, aproximadamente, de 22° negativos.

O outro procedimento é o posicionamento correto do *GPS/compass* embarcado no VANT. Conforme o NAZA-M LITE User Manual (2013), o *software* necessita da localização física exata do *GPS/compass* fixado ao *frame* (chassi) do *drone*, informando sua localização nos eixos X, Y e Z conforme Figura 36.

Figura 36 – Configuração do GPS



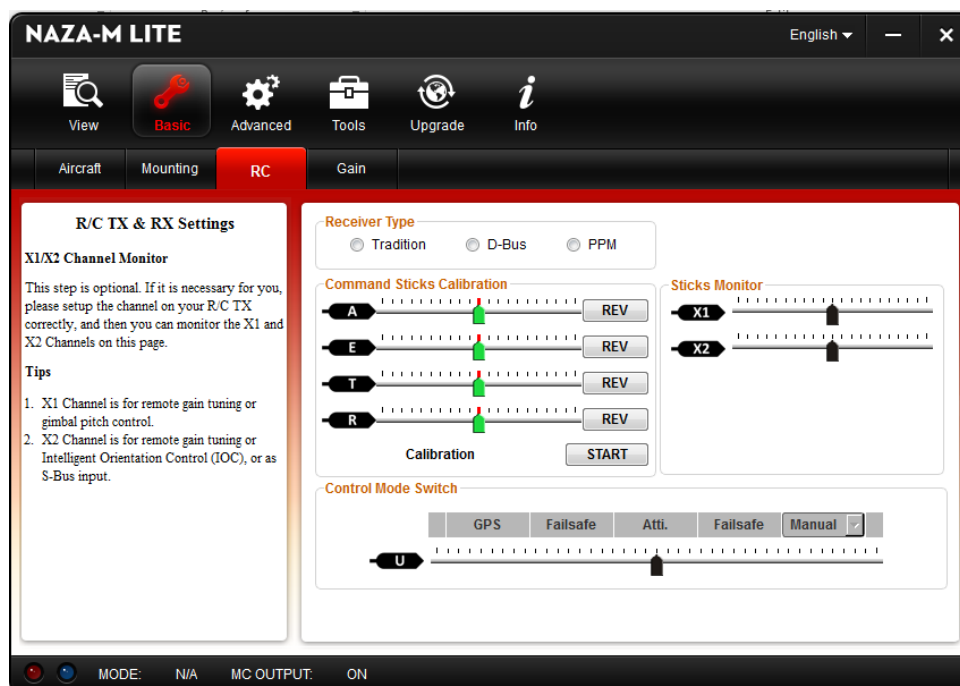
Fonte: NAZA-M LITE User Manual (2013)

Basicamente, é preciso que as medidas da posição exata do *GPS* em relação ao controlador de voo se iniciem a partir do Centro de Gravidade (CG) do VANT. A partir daí, é necessário medir a distância que o módulo *GPS/compass*, fixado ao *drone* está em relação ao CG. Dessa forma, obtém-se a distância do eixo X. Da mesma forma se faz para o eixo Y. Para o eixo Z, a medição se faz em relação ao solo para que o sistema saiba exatamente a distância do *drone* em relação ao solo. Essas informações devem ser inseridas no campo *GPS X*, *Y* e *Z* conforme indicado na Figura 36. Conectando o *drone* ao PC, é possível fazer o *upload* dos dados para a placa controladora embarcada no *drone*.

Já na Figura 37, pode-se visualizar a configuração do sistema de falhas. Segundo o NAZA-M LITE User Manual (2013), caso ocorra alguma falha no sistema embarcado durante o voo que influencie as atividades do VANT, seja ela na interrupção do sinal do rádio controle com o VANT ou problemas como desconexão dos fios de controle por vibração, ou até mesmo por interferências de frequências aleatórias externas, o recurso *fail safe* é ativado automaticamente, fazendo com que o *drone* retorne ao ponto inicial de partida. É possível, ainda, que o usuário faça a calibração dos *sticks* (alavancas de controle) do rádio controle, tornando-os mais precisos para o momento do voo. O recurso *Receiver Type* permite que o usuário escolha o modo de controle que o rádio controle e o receptor devem utilizar, sendo

que o modo *Tradition* é o mais comum. O modo *D-Bus* é um recurso onde os receptores são multiplexados, ou seja, ao invés de transmitir os comandos por vários canais separados, os sinais trafegam em um só canal, proporcionando maior economia ao usuário, porque permite ter à sua disposição os demais canais que antes eram ocupados.

Figura 37 – NAZA-M LITE User Manual, 2013



Fonte: NAZA-M LITE User Manual (2013)

3.1.1.1 Coleta de dados

Os sensores somente iniciam as medições a partir do momento em que o usuário envia um comando através do rádio HobbyKing, conforme descrito na seção 3.2.8.

3.1.1.2 Transmissão de dados

A linguagem utilizada para capturar os dados na porta serial é a linguagem *python*, linguagem orientada a objeto de alto nível (CÁSSIO, 2014).

Neste trabalho, um código implementado no Arduino permite o envio dos dados do *drone* à Central de Monitoramento. Outro código implementado tem a função de capturar os dados vindos do *drone* para a porta serial, criando, assim, um arquivo texto, escrevendo-o na tela. Na intenção de eliminar caracteres indesejados gerados pelos RF's depois do término do envio de dados, foi adicionada ao código uma rotina que determina que o recebimento da letra **z** inicia o processo de *upload* dos dados e o da letra **b** finaliza a recepção (CÁSSIO, 2014). Este código encontra-se descrito no APÊNDICE A.

3.1.1.3 Verificação de *outliers*

Outliers são dados que apresentam valores muito atípicos quando comparados ao restante das informações coletadas, ou seja, são resultados inconsistentes com o restante da coleta de dados. Sua existência prejudica a interpretação final dos resultados da pesquisa, portanto, sua verificação e eliminação adequadas são de extrema importância para o sucesso do trabalho.

O método matemático utilizado neste trabalho para a eliminação de *outliers* calcula limites mínimos e máximos para as grandezas ambientais e descarta qualquer medida que esteja fora destes limites. Este método compreende os seguintes passos:

1. Cálculo da média dos dados coletados
2. Cálculo do desvio padrão dos dados coletados
3. Cálculo do limite inferior = média - 3x o desvio padrão
4. Cálculo do limite superior = média + 3x o desvio padrão
5. Descarta todos os pontos que estiverem fora desses limites

Todos os dados considerados *outliers* são descartados, preservando somente os dados que estão dentro do limite inferior e superior. O código associado a este método de eliminação de *outliers* encontra-se descrito no Apêndice E.

3.3.3. Sistema Supervisório TAGO

O sistema Supervisório TAGO é um sistema supervisório disponível na Internet, gratuito quando consideradas algumas limitações como, por exemplo, a quantidade de gráficos possível de ser visualizada. Mais especificamente, ele disponibiliza, gratuitamente, a visualização de até 5 gráficos.

Neste trabalho, foram analisadas as seguintes grandezas: temperatura do ar, umidade do ar, luminosidade, distância (das copas das árvores) e coordenadas geográficas por GPS. No site do TAGO, para cada grandeza é reservado um *bucket* onde coloca-se as medições das grandezas e, associado a cada *bucket*, um *token* (tipo de senha) é disponibilizado.

O programa `upload.py` (APÊNDICE E) faz uso destes *tokens* e *buckets* e, após feita a leitura desse arquivo de texto (Figura 36) criado a partir do código explicado na seção 3.2.9, onde o programa `upload.py` carrega os dados nos *buckets*.

Como o TAGO é um sistema supervisório, ele transmite alarmes por e-mail ou SMS. Esse recurso também foi implementado neste trabalho. A Figura 38 ilustra os dados do arquivo de texto lido pelo `upload.py`.

Figura 38 – Dados do arquivo de texto do cartão de memória

```
Location: -22.768096,-47.083465 Date/Time: 8/27/2017 020:09:022 Umidade: 42.20 Temperatura: 27.70 *C Luminosidade: 956 Distancia: 662
Location: -22.768096,-47.083465 Date/Time: 8/27/2017 020:09:022 Umidade: 42.20 Temperatura: 27.70 *C Luminosidade: 957 Distancia: 411
Location: -22.768096,-47.083465 Date/Time: 8/27/2017 020:09:022 Umidade: 42.20 Temperatura: 27.70 *C Luminosidade: 958 Distancia: 662
Location: -22.768096,-47.083465 Date/Time: 8/27/2017 020:09:022 Umidade: 42.20 Temperatura: 27.70 *C Luminosidade: 958 Distancia: 662
Location: -22.768096,-47.083465 Date/Time: 8/27/2017 020:09:022 Umidade: 42.20 Temperatura: 27.70 *C Luminosidade: 957 Distancia: 408
Location: -22.768112,-47.083438 Date/Time: 8/27/2017 020:09:026 Umidade: 42.20 Temperatura: 27.80 *C Luminosidade: 957 Distancia: 662
```

Fonte: Autoria própria

Desenvolveu-se, também, um código escrito em linguagem *script Bourne Shell* que utiliza o protocolo HTML (*GET/POST*) chamado `limpa.sh` para apagar todos os dados armazenados no sistema TAGO. A razão desse procedimento de limpeza se deveu à necessidade de se descartar os gráficos antigos para dar lugar aos gráficos mais recentes (APÊNDICE D).

Embora a grande maioria das operações realizadas para o desenvolvimento deste trabalho tenha sido feita utilizando o sistema operacional Windows, o `limpa.sh` foi feito utilizando a *Bourne-Again Shell* (Bash), que é uma

interface homem-máquina em linha de comando do sistema operacional Linux que também foi utilizada para a operação dos *scripts* de *upload* dos gráficos para o site do TAGO e detecção dos *outliers*. O Windows não possui uma interface homem-máquina em modo caractere tão fácil de usar e completa quanto a do Linux, por isso, para programação de *scripts* foi utilizado o MinGW – Minimalist GNU for Windows, um *software* livre que disponibiliza a interface do Linux rodando no Windows, que tem como finalidade prover uma completa plataforma para desenvolvimento de *software*, permitindo que sejam escritos programas em linguagem *script* muito eficientes, além de fornecer compilação e *debug* de *software*, ao mesmo tempo que dá acesso a uma grande variedade de programas utilitários do Linux (MinGW Project, 2017).

3.4. Ensaios para validação dos Sensores

Para validar os sensores embarcados no VANT, foram realizados testes em uma área rural localizada na cidade de Artur Nogueira – SP (um sítio). Essa localidade foi escolhida para validar o funcionamento dos sensores para posterior aplicação no monitoramento de um remanescente de florestal urbano. Neste local, havia duas fileiras de árvores sendo que o espaçamento entre as fileiras é de, aproximadamente, 5 metros. A altura das árvores é de, aproximadamente, 2 metros. A Figura 39 ilustra esse local de testes.

Foi realizado um voo com duração de 3 minutos e 50 segundos, no qual o *drone* se deslocava de um lado para o outro, sobrevoando o gramado e as árvores. Dessa forma, foi possível a coleta dos dados pelos sensores.

Figura 39 – Local dos testes Sítio



Fonte: Autoria própria

Figura 40 – Voo do *drone* no Sítio

Fonte: Autoria própria

As coordenadas geográficas do sítio onde foram feitos esses testes foram fornecidas pelo módulo *shield GPS* embarcado: -22.527090 (latitude), -47.162715 (longitude). As coordenadas completas do percurso do drone durante este teste não puderam ser adicionadas ao trabalho, pois o GPS não coletou as coordenadas corretas do local. Isso ocorreu porque houve uma falha no sistema de localização do GPS, que fez com que o sensor coletasse coordenadas de um local diferente.

Para o segundo teste, o ambiente escolhido foi o local proposto pelo trabalho, a Mata Quilombo no distrito de Barão Geraldo (Campinas – SP).

Para esse monitoramento, o método empregado foi semelhante ao que foi feito no primeiro teste. O *drone* foi posicionado próximo a borda da mata, de forma que facilitasse a sua visualização. Assim que o *drone* sobrevoou a primeira árvore foi dado o comando para esses sensores iniciarem a coleta dos dados ambientais.

O plano de voo foi similar ao primeiro teste, porém num ambiente real de remanescente florestal urbano, com árvores de vários tamanhos, com solo irregular, galhos, lixos, animais em decomposição, situação pouco diferente do primeiro cenário.

As coordenadas geográficas do Remanescente Florestal Urbano Quilombo, onde foram feitos os testes, fornecidas pelo módulo *shield GPS* - 22.768096, -47.083465. A Figura 41 ilustra o local conforme visto no *Google Maps*, e a Figura 42 ilustra o local através de uma foto tirada pelo *drone*.

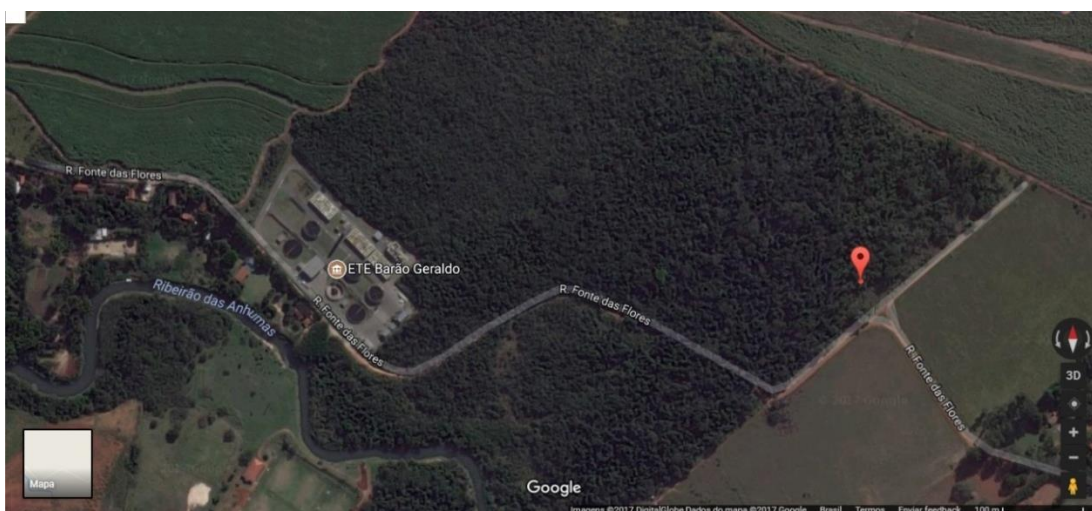
3.5. Ensaios para Monitoramento de Remanescentes Florestais Urbanos

Para validação desta proposta como forma de apoio ao acompanhamento da degradação ambiental urbana, foi tomado como objeto de estudo o remanescente florestal urbano da Mata Quilombo, localizado no distrito de Barão Geraldo (Campinas – SP), ilustrado nas Figuras 41 e 42, para testes e procedimentos de monitoramento com o *drone* de pequeno porte F450 da marca DJI na intenção de coletar grandezas de medidas ambientais com os dispositivos eletrônicos como temperatura (DHT22), luminosidade (LDR), altitude (Sonar ultrassônico HC-SR04) e o módulo de localização

geográfica (*shield GPS*). Para o processamento e armazenamento desses dados coletados, utilizou-se o hardware Arduino UNO.

Esse código não somente está implementado para a coleta de todas as grandezas ambientais através dos sensores como citado anteriormente, mas ao mesmo tempo, está programado para enviar os dados armazenados à central de monitoramento e ao Sistema Supervisório TAGO assim que solicitado pelo usuário.

Figura 41 – Local da Mata Quilombo pelo Google Maps



Fonte: Google Maps, 2017

Figura 42 – Local dos testes Mata Quilombo



Fonte: Alves et al. (2016c)

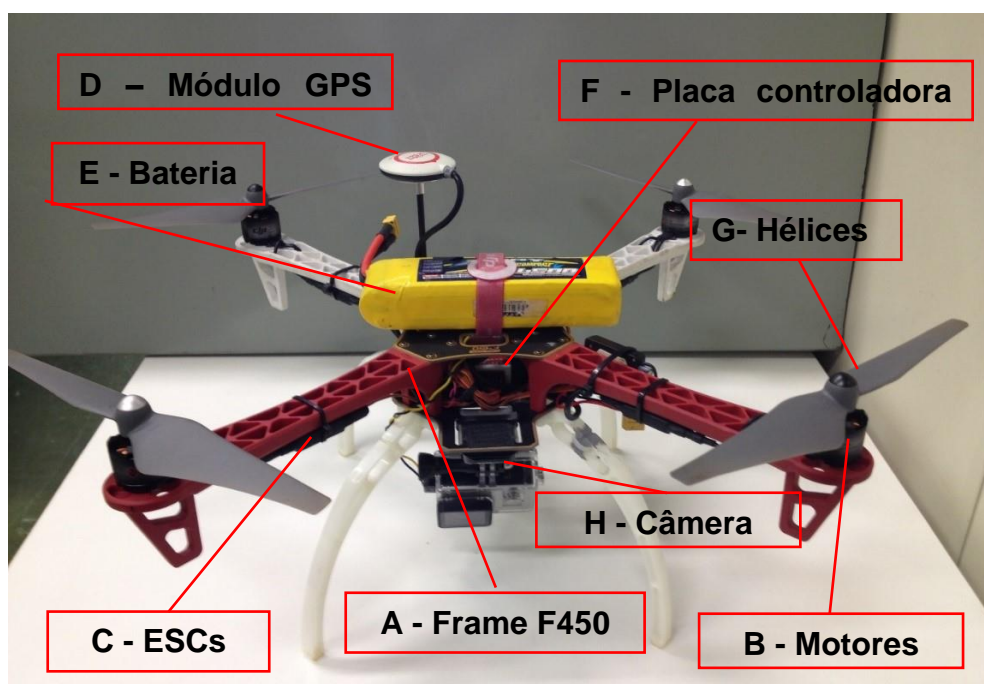
4 RESULTADOS

Este capítulo apresenta o VANT implementado, os resultados obtidos nos testes realizados para validação do funcionamento dos sensores e para o monitoramento do remanescente florestal urbano Mata do Quilombo.

4.1. Resultados da Implementação do VANT

A Figura 43 ilustra o VANT implementado de acordo com a metodologia descrita na seção 3.1.8.

Figura 43 – VANT implementado



Fonte: Alves et al. (2016c)

A – Frame: Seria o chassi do *drone* feito de um plástico muito resistente.

B – 04 Motores *brushless* de alta rotação.

C – 04 ESCs responsáveis pelo fornecimento de energia e controle dos motores.

D – Módulo GPS da marca DJI associados aos recursos *Go Home* e *Fail Safe*.

E – Bateria LiPO 14.8V, 5.200mAh com capacidade de altas descargas de corrente.

F – Placa controladora da marca DJI, totalmente configurável utilizando o software desenvolvido pela marca.

G – Câmera GOPRO *FULL HD*.

4.1.1. Análise de custos

A tabela a seguir apresenta os valores de todos os equipamentos utilizados no trabalho.

Tabela 7 – Custos do trabalho

MATERIAL	UNID	QUANT	VALOR UNITÁRIO	VALOR TOTAL
Quadricóptero DJI NAZA M LITE F450	KIT	01	US\$460,00	US\$460,00
Rádio Controle FUTABA <i>Fasst 7c</i> 2.4GHz	PÇ	01	US\$620,00	US\$620,00
Rádio Controle <i>HobbyKing HK-7x v2</i>	PÇ	01	US\$120,00	US\$120,00
Baterias para rádio controle	PÇ	02	US\$30,00	US\$60,00
Bateria para o <i>drone</i>	PÇ	02	US\$90,00	US\$180,00
FPV marca BOSCAN 5.8GHz 600mW Tx/Rx	KIT	01	US\$185,00	US\$185,00
Tela de LCD 7" colorida	PÇ	01	US\$20,00	US\$20,00
Tripé de alumínio 1,50 metro	PÇ	01	US\$30,00	US\$30,00
Câmera Gopro Hero 3+	PÇ	01	US\$460,00	US\$460,00
Arduino UNO	PÇ	02	US\$15,00	US\$30,00
<i>Shield Ethernet</i>	PÇ	01	US\$12,00	US\$12,00
DHT22	PÇ	01	US\$10,00	US\$10,00
LDR	PÇ	01	US\$0,60	US\$0,60
Sonar ultrassônico HC sr04 Sparkfan	PÇ	01	US\$5,00	US\$5,00

Módulo <i>Shield</i> GPS	PÇ	01	US\$90,00	US\$90,00
Módulo RF433MHz Tx/Rx	KIT	01	US\$5,00	US\$5,00
			TOTAL	US\$2.287,60

Fonte: Autoria própria

Esses valores podem ser considerados baixos quando comparados a métodos já existentes. Para uma análise de desmatamento onde é preciso localizar uma área devastada no meio de uma floresta, muitas vezes só é possível notar por imagens aéreas.

Para tal procedimento, pode-se citar um equipamento 3D chamado Scanner Terrestre, que tem um custo que varia de R\$100.000,00 à R\$120.000,00. Pode-se mencionar também o monitoramento por imagens de satélites, conforme Santos, Castro e Ribeiro (2011). O custo desse método varia entre R\$9.000,00 e R\$10.000,00 cada 100km².

Tendo esses custos em vista, é evidente que este trabalho teve um custo que pode ser considerado baixo quando comparado aos custos de outros métodos de monitoramento.

4.2. Resultados dos ensaios para validação dos sensores

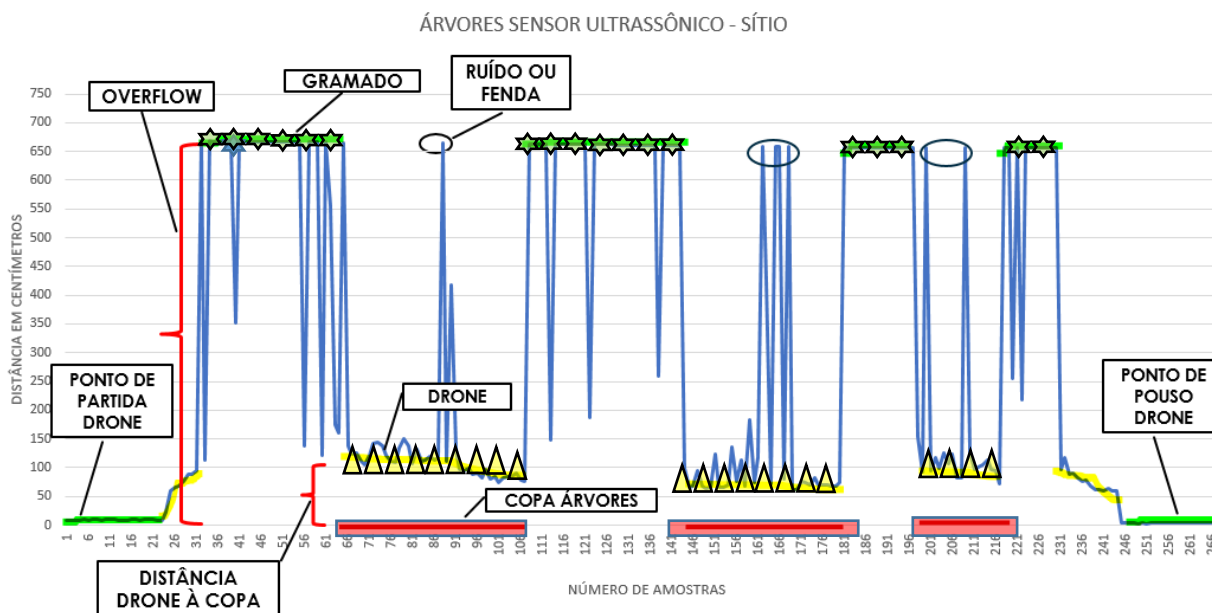
O Teste 1 foi realizado no sítio localizado em Artur Nogueira (SP), conforme descrito no Capítulo 3.

A Figura 44 apresenta os dados numéricos coletados pelo *Sonar Ultrassônico HC-SR04*. Uma vez acionado, esse sensor transmite sinais sonoros de aproximadamente 10 microssegundos através da saída chamada *THIGGER*, os quais colidem no obstáculo e retornam ao receptor conhecido com *ECHO* num espaço de 40KHz. Dessa forma, a cada intervalo, a distância do sensor em relação ao obstáculo é informada (SANTOS, 2015).

Como exemplo de aplicação desses sensores, temos o trabalho de Vilanova Junior (2016), que, na intenção de obter um resultado satisfatório, avaliou a cultura de algodão visando uma produção maior e mais saudável no território brasileiro. Para tanto, analisou, além de outros parâmetros, o dossel do cultivo utilizando a tecnologia de sonares ultrassônicos, ou seja, a altura da plantação durante um período de 3 anos. Esses sensores tiveram um bom resultado na leitura das distâncias durante desenvolvimento plantação, que apresentou uma altura aproximada de 1,5 metros acoplado ao veículo agrícola.

No caso do presente trabalho, nota-se que foi possível identificar diferentes distâncias e relacioná-las com situações de sobrevoo, conforme as cores destacadas na figura. Assim, foi possível identificar os momentos em que o *drone* sobrevoou a vegetação mais densa, ou seja, sobrevoando as árvores com o sensor Sonar HC-SR04 instalado na parte inferior. Dessa forma, com o sensor acionado, iniciou-se a captura dos dados, com os quais foi possível observar que o *drone* (destacado com formas triangulares na cor amarela) variou sua distância em relação a copa das árvores (destacado com formas triangular na cor vermelha) entre 50 a 100cm, conforme indicado no colchete menor.

Figura 44 – Medida de distância



Fonte: Autoria própria

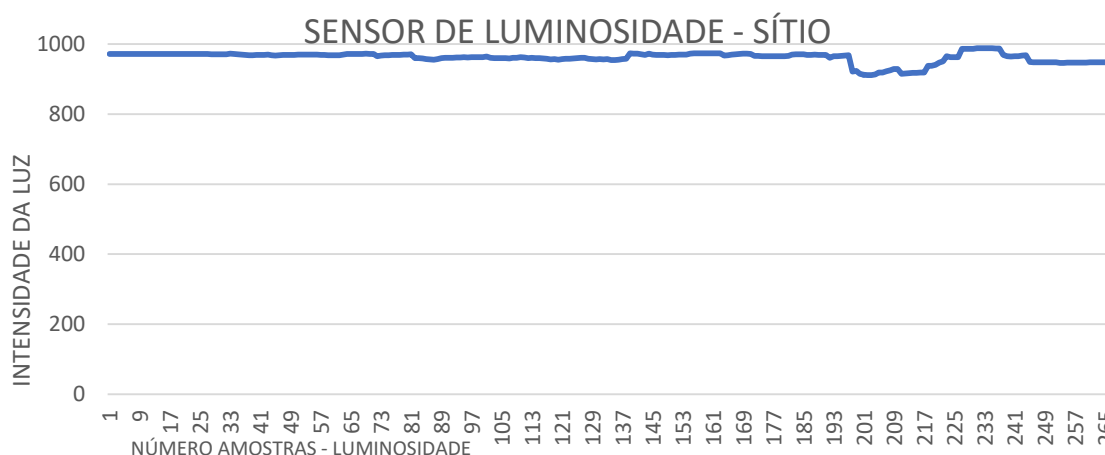
O sensor Sonar Ultrassônico HC-SR04 atingiu seu limite máximo de alcance de 400 cm nominal, ou seja, o limite de 650cm indicado na figura sugere o *overflow*, ou seja, o limite máximo do sensor quando sobrevoou sobre o gramado (destacado em forma de estrela na cor verde) conforme indicado no colchete maior.

Os círculos pretos, destacam alguns sinais que podem indicar ruídos do próprio sensor em decorrência da vibração ou fendas entre as árvores. Para afirmar a causa dos sinais, seriam necessários outros testes mais aprofundados para a verificação dessa possibilidade.

A Figura 45 ilustra os resultados obtidos pelo o sensor de luminosidade por meio da representação de uma conversão analógico para digital do sinal do LDR. A digitalização foi realizada pelo conversor A/D do Arduino com a precisão de 10 bits, ou seja, 2^{10} , que é igual a 1024. Para calibração desse sensor e obtenção de um valor em LUX de maneira simples, foi necessário um equipamento específico chamado LUXIMETRO para mapear os valores de tensão do LDR para valores em LUX.

Pode-se observar que a luminosidade estava bem elevada, devido ao horário em que foram realizados os testes, por volta das 11:00 da manhã.

Figura 45 – Medida de luminosidade

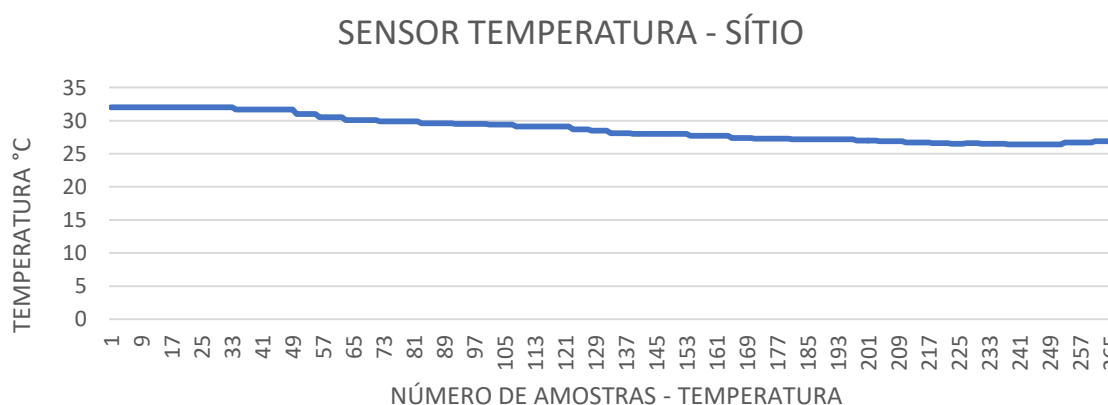


Fonte: Autoria própria

As Figuras 46 e 47 ilustram, respectivamente, os resultados obtidos pelo sensor DTH22 de temperatura do ambiente e umidade do ar.

A temperatura apresentou uma pequena variação devido ao deslocamento do *drone*.

Figura 46 – Medida de temperatura

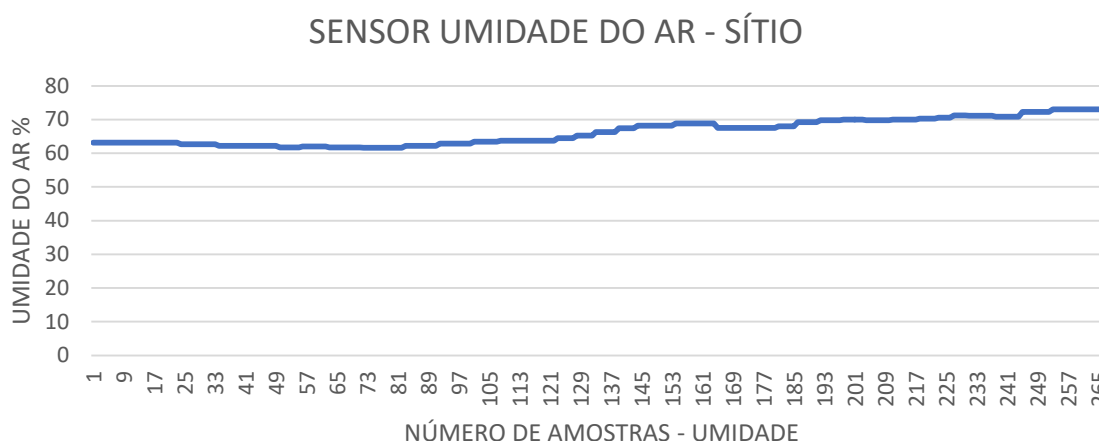


Fonte: Autoria própria

Na Figura 46, pode-se observar a temperatura do ar elevada, em razão do voo ter sido realizado em dia de forte calor no local.

A umidade apresentou uma pequena variação devido ao deslocamento do *drone* no local do teste.

Figura 47 – Medida de umidade do ar



Fonte: Autoria própria

Na Figura 47, pode-se observar a umidade do ar elevada, em virtude de uma chuva ocorrida no local dos testes, cerca de 3 horas antes do voo. Essa chuva originou um ambiente quente e úmido, ocasionando a coleta dos dados com níveis elevados pelos sensores embarcados como se verificou nas Figuras 46 e 47.

A análise das Figuras 44, 45, 46 e 47 permitiu atestar a validade do funcionamento dos sensores de temperatura do ar, umidade do ar, distância e luminosidade, quando embarcados no VANT.

4.3. Resultados do monitoramento de remanescentes florestais urbanos

O *drone* implementado foi utilizado para o monitoramento de um remanescente florestal urbano, a Mata do Quilombo, localizada no Distrito de Barão Geraldo (Campinas – SP). Neste ensaio foi realizada a coleta de imagens com a câmera GoPro no perímetro da Mata. As Figuras 48 e 49 ilustram as fotos captadas neste monitoramento.

Figura 48 – Foto aérea da Mata do Quilombo



Fonte: Alves et al. (2016c)

Figura 49 – Foto aérea da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), localizada ao lado da Mata do Quilombo



Fonte: Alves et al. (2016c)

A Figura 50 ilustra o encontro da pastagem com a Mata do Quilombo.

Figura 50 – Encontro pastagem com a vegetação nativa



Fonte: Autoria própria

A Figura 51 ilustra uma foto do VANT sobrevoando a Mata do Quilombo.

Figura 51 – Sobrevoos sobre o remanescente florestal urbano



Fonte: Alves et al. (2016c)

A Figura 52 ilustra uma versão ampliada da Figura 51, mostrando o sobrevoos do *drone* mais de perto.

Figura 52 – Figura 51 ampliada



Fonte: Alves et al. (2016c)

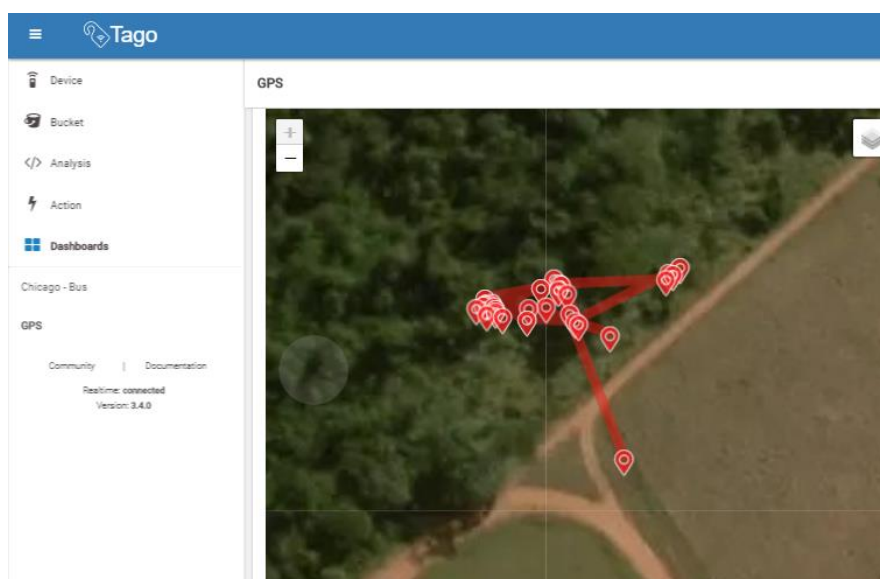
Deve-se ressaltar que o monitoramento da Mata do Quilombo com o *drone* foi realizado dentro das normas estabelecidas pela ANAC, na seção 2.4.

Neste teste sobre o remanescente, um voo com o tempo aproximado de 8 minutos foi o suficiente para a coletar os dados de interesse. O item a seguir apresenta os resultados das grandezas coletadas monitoradas pelo Sistema Supervisório TAGO.

4.3.1. Monitoramento das grandezas ambientais no TAGO

Os dados coletados durante o voo foram posteriormente enviados ao Sistema Supervisório TAGO. Esses dados contêm as coordenadas geográficas do deslocamento do *drone* na mata, as quais foram sincronizadas ao *Google Maps* (recurso disponibilizado pelo TAGO), proporcionando ao usuário uma visão do percurso de voo do *drone* sobre a Mata do Quilombo. A Figura 53 ilustra a trajetória de voo do VANT, visualizada no TAGO, em vermelho.

Figura 53 – Trajetória de voo do VANT



Fonte: Autoria própria

As imagens geradas pelo TAGO informam o deslocamento do *drone* sobre o remanescente florestal urbano durante o voo através das coordenadas geográficas (latitude e longitude) inseridas no sistema supervisorio. O posicionamento geográfico foi determinado a partir dos dados inseridos no sistema supervisorio pelo usuário.

O *drone* iniciou o voo sem iniciar a captura dos dados, somente iniciando-a em pleno voo quando o equipamento já estava acima do remanescente, através do acionamento remoto pelo rádio HK escolhido para acionamento dos sensores pelo usuário. O deslocamento foi feito numa pequena parcelada mata, para que o *drone* pudesse ser controlado a vista do usuário, e devido ao seu pequeno porte, não foi possível realizar um voo mais distante. Depois da coleta dos dados, o pouso foi realizado fora da mata num gramado na lateral da rua de terra.

A Tabela 9 indica as coordenadas percorridas pelo *drone*.

Tabela 8 – Coordenadas de voo do *drone* na Mata do Quilombo

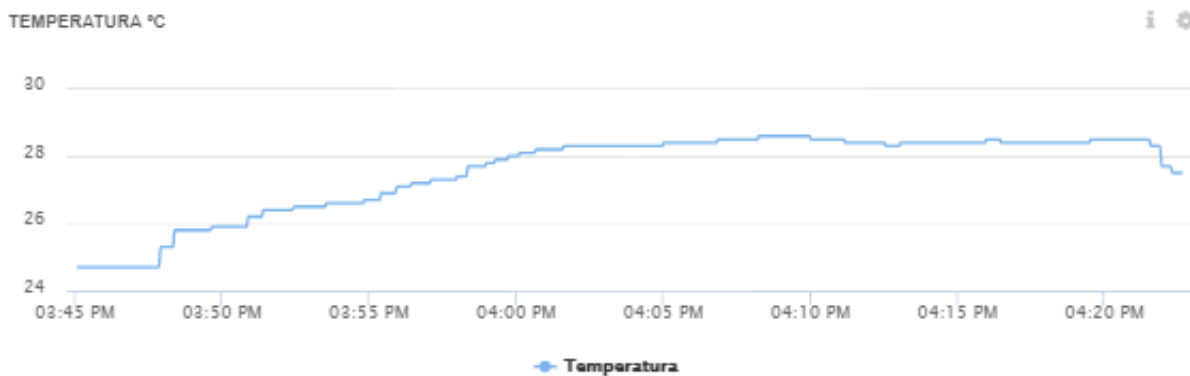
Latitude	Longitude
22.768096	47.083465
22.768112	47.083438
22.768117	47.083396
22.768104	47.083415
22.768096	47.083328
22.768161	47.083118
22.768135	47.083198
22.768062	47.083229
22.768093	47.083282
22.768098	47.083415
22.768089	47.083431
22.768123	47.083332
22.768129	47.083209
22.767999	47.082935
22.768014	47.082954
22.768013	47.082965
22.768039	47.083248
22.768041	47.083244
22.768089	47.083442
22.768091	47.083446
22.768085	47.083423
22.768093	47.083419
22.768049	47.083297
22.768026	47.083263
22.768053	47.083251
22.768110	47.083221
22.768457	47.083080

Fonte: Autoria própria

As medidas de temperatura do ar coletadas são apresentadas na Figura 54. Os testes ocorreram em agosto, uma estação típica de seca e calor, na qual as temperaturas do ar variam entre 20,5 C° a 27,2 C°, o que pode acontecer ao longo do dia (ZANGIROLAMI, 2013). A temperatura do ar foi coletada pelo sensor DHT22 instalado no *drone* durante o voo no horário vespertino, no qual foi possível observar a proximidade desses dados aos dados coletados pelo drone. A variação de temperatura pode ter ocorrido pelo fato do deslocamento do drone entre a vegetação e de por baixo algumas árvores mais altas que geravam sombra, tendo a chance

daquele local ter uma temperatura mais ou menos acentuada. O mesmo pode ser dito em relação aos dados sobre a umidade do ar, ilustrada na Figura 55.

Figura 54 – Temperatura no Sistema Supervisório TAGO



Fonte: Autoria própria

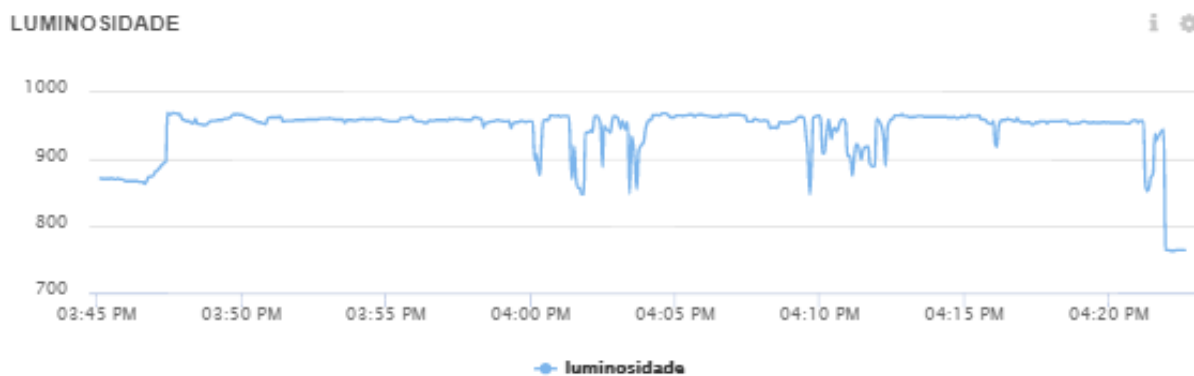
Figura 55 – Umidade no Sistema Supervisório TAGO



Fonte: Autoria própria

A Figura 56 ilustra os resultados obtidos pelo o sensor de luminosidade, que variaram conforme o deslocamento do *drone* durante o voo pelo remanescente florestal urbano. Verificou-se que a luminosidade estava elevada, uma vez que o voo foi realizado sob forte incidência de radiação solar.

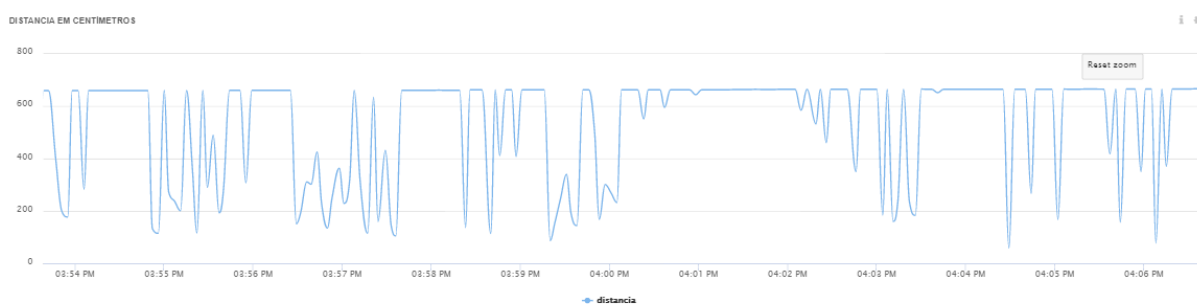
Figura 56 – Luminosidade no Sistema Supervisório TAGO



Fonte: Autoria própria

A Figura 57 ilustra a distância entre o *drone* e a copa das árvores/chão, visando a identificação de áreas de desmatamento.

Figura 57 – Distância no Sistema Supervisório TAGO



Fonte: Autoria própria

De acordo com os gráficos disponibilizados pelo sistema supervisório TAGO, esse sistema demonstrou ser eficiente para tal aplicação, permitindo visualizar os dados coletados.

5 CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos, pode-se concluir que foi possível o desenvolvimento de um sistema para monitoramento de remanescentes florestais urbanos por meio da construção de um *drone* de baixo custo.

Foi possível cumprir o objetivo de realizar um monitoramento não invasivo utilizando o VANT com sensores embarcados. A partir dos dispositivos empregados, foi possível coletar e armazenar medidas de grandezas ambientais e garantir a integridade das informações coletadas.

As tecnologias empregadas também se mostraram capazes de transmitir os dados coletados, utilizando comunicação sem fio, a uma central de monitoramento, onde o usuário ou o operador da central poderia monitorar as variáveis que podem ser, então, disponibilizadas para visualização por um Sistema Supervisório na nuvem.

Como sugestões para trabalhos futuros na mesma área, recomenda-se a substituição do sensor Sonar Ultrassônico, que apresentou resultados possíveis de serem aprimorados, por conta do da vibração do *drone* ou de fendas entre as árvores. Uma opção viável e eficiente seria um equipamento chamado *Laser Scanner*, tecnologia desenvolvida para mapeamento de relevo a partir da emissão de feixes emitidos por *lasers* que proporcionam uma visão 3D do solo.

Adicionalmente, durante o desenvolvimento do trabalho, notou-se uma lentidão no processamento do Arduino Uno. A utilização de outros microcontroladores com maior poder de processamento, como por exemplo, o *Raspberry Pi*, pode ser uma solução viável para esse problema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

3D ROBOTICS. **Pixhawk Support**. 2017. Disponível em: <<https://3dr.com/support/pixhawk/>>. Acesso em: 30 ago. 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. **Requisitos Gerais Para Aeronaves Não Tripuladas De Uso Civil**. Resolução nº 419, de 2 de maio de 2017.

AGUIRRE, Tiago Ferraz de Arruda et al. **Monitoramento de Drones Sensores Móveis: Emulação com Sensores em Aplicação de Agronegócio** In: CONGRESSO DE PESQUISAS AMBIENTAIS, 2., 2016, Itapetininga. 2016.

ALMEIDA, Gian Lucas Nunes de. **GERAÇÃO AUTOMÁTICA DE CÓDIGO PARA A TRAJETÓRIA DE VANTS EM VOOS ASSISTIDOS**. 2015. 75 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2015.

ALVES, J. et al. **O sensoriamento de áreas florestais através de Veículos Aéreos não Tripulados**. In: Brazilian Technology Symposium 2016 (BTSym'16), 2016a, Campinas (SP). Anais, 2016.

ALVES, José Ricardo et al. **Apoio ao Diagnóstico Ambiental Preliminar do Estado de Degradação de Remanescente Florestal Urbano com Veículo Aéreo Não Tripulado**. In: CONGRESSO DE PESQUISAS AMBIENTAIS, 2., 2016c, Itapetininga. 2016.

ALVES, José Ricardo et al. **Solução para Acionamentos de Longa Distância pelo Canal de Radiocontrole de VANTS para Sensoriamento em Campos Agrícolas**. In: CONGRESSO DE PESQUISAS AMBIENTAIS, 2., 2016b, Itapetininga. 2016.

AVELLAR, Gustavo Silva Castilho de. **Navegação de veículos aéreos não tripulados para cobertura de áreas com minimização de tempo**. 2014. 112 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

BASTIAN, Andrea Verri. Vetorização Automática de Ortofotos. In: CONFERÊNCIA DA SOCIEDADE IBERO-AMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL, 17., 2013, Valparaíso. **Proceedings...** . São Paulo: Blucher, 2014. p. 166 - 169.

BRAGA, Newton C. **Técnicas de modulação AM/FM (TEL075)**. 2014. Disponível em: <<http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/telecomunicacoes/6413-tel075>>. Acesso em: 03 out. 2017.

BRASIL. Constituição (1986). Lei nº 7.565, de 19 de dezembro de 1986. Dispõe sobre o Código Brasileiro de Aeronáutica. **Lei Nº 7.565, de 19 de Dezembro de 1986..** Brasília, DF, 19 dez. 1986. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L7565.htm>. Acesso em: 06 out. 2017.

BRASIL. Coordenação Geral do Programa de Monitoramento Ambiental dos Biomas Brasileiros. Ministério do Meio Ambiente. **Estratégia do Programa de Monitoramento Ambiental dos Biomas Brasileiros**: Portaria nº 365, de 27 de novembro de 2015. Brasília: Mma, 2016. 44 p. Disponível em: <http://www.florestal.gov.br/snif/images/Publicacoes/estrategia_programa_monitoramento_ambiental_biombras.pdf>. Acesso em: 25 abr. 2017.

CÁSSIO, Wellington. **Comunicando Arduino e Python**: PySerial e Comunicação Serial. 2014. Disponível em: <<http://labdegaragem.com/profiles/blogs/comunicando-arduino-e-python>>. Acesso em: 24 abr. 2017.

CONDIT, Richard. **Tropical Forest Census Plots: Methods and Results from Barro Colorado Island, Panama and a Comparison With Other Plots**. 0: Springer Science & Business Media, 1998. 211 p.

COSTA, Renê. **Impactos sobre remanescentes florestais de Mata Atlântica na zona oeste da Grande de São Paulo**: um estudo de caso da mata da fazenda Tizo. 2006. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

DATASHEET. **Light Dependent Resistors**. 1997. Disponível em: <http://www.bilimteknik.tubitak.gov.tr/sites/default/files/gelisim/elektronik/dosyalar/40/LDR_NSL19_M51.pdf>. Acesso em: 24 abr. 2017.

DEMPSEY, Martin E. **Eyes Of The Army**: U.S. army roadmap for unmanned aircraft system 2010-2035. United States Army, 9 Abr. 2010. Disponível em <<http://www.rucker.army.mil/usaace/uas/us%20army%-20uas%20roadmap%202010%202035.pdf>>. Acesso em 30 set. 2016.

DJI. **Especificação E300/2212 DJI**. 2017. Disponível em: <<https://www.dji.com/tuned-propulsion-system>>. Acesso em: 30 out. 2017.

DRONE BRAZIL TECHNOLOGY. **Drone F450 GPS Naza lite Correção da Declinação Magnética com Bússola Parte 2**. 2016. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=dfhAuuzcJJY>>. Acesso em: 23 out. 2017.

DRONE STORE. **F450 Frame Kit**. 2016. Disponível em: <<http://dronestore.com.br/produto/f450-frame-kit/631>>. Acesso em: 27 out. 2017.

ELECTRIFLY. **Evader**. 2010. Disponível em: <<http://www.electrifly.com/discontinued/gpma1800.html>>. Acesso em: 15 set. 2017.

EZEQUIEL, Carlos Alphonso F. et al. **UAV aerial imaging applications for post-disaster assessment, environmental management and infrastructure development**. In: Unmanned Aircraft Systems (ICUAS), 2014 International Conference on. IEEE, 2014. p. 274-283.

FARIAS, Lorraine do Nascimento et al. . Parâmetros microclimáticos e atributos químicos e físicos do solo em área de preservação permanente situada na cabeceira do Rio São Lourenço, Campo Verde–MT. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 9, n. 1, p.83-99, jan. 2012.

FLYZONE. **RTF and Tx-R RC Airplane**. 2017. Disponível em: <<http://www.flyzoneplanes.com/airplanes/flza3330/index.html>>. Acesso em: 14 set. 2017.

FORNACE, Kimberly M. et al. Mapping infectious disease landscapes: unmanned aerial vehicles and epidemiology. **Trends in parasitology**, v. 30, n. 11, p. 514-519, 2014.

FRANCO, Geraldo Antônio Daher Corrêa et al. Importância dos remanescentes florestais de Embu (SP, Brasil) para a conservação da flora regional. **Biota Neotropica**, São Paulo, v. 7, n. 3, p.145-161, set. 2007.

FUTABA. **Manual do sistema de rádiocontrole de 7 canais**. 2012. Disponível em: <http://www.aeromodelli.com.br/downloads/Manual_Futaba_7C-2_4.pdf> Acesso em: 11 sep. 2017.

FUTABA. **PCM 1024 System Info**. Disponível em: <<http://www.futabarc.com/faq/faq-pcm1024.html>>. Acesso em: 09 set. 2017.

GÓMEZ-CANDÓN, D.; CASTRO, A. I. de; LÓPEZ-GRANADOS, F.. Assessing the accuracy of mosaics from unmanned aerial vehicle (UAV) imagery for precision agriculture purposes in wheat. **Precision Agriculture**, [s.l.], v. 15, n. 1, p.44-56, 8 nov. 2013. Springer Nature.

GOPRO. **GoPro Hero 3+**. 2013. Disponível em: <https://gopro.com/content/dam/help/hero3-silver-edition/manuals/HERO3_Silver_UM_POR_RevC_web.pdf>. Acesso em: 29 out. 2017.

HC-SR04 User Guide. 2013. Disponível em: <http://elecfreaks.com/estore/download/EF03085-HC-SR04_Ultrasonic_Module_User_Guide.pdf>. Acesso em: 24 abr. 2017.

HOBBYKING. **RC832 Instruction Manual**. 2013. Disponível em: <<https://hobbyking.com/media/file/459355259X1475157X35.pdf>>. Acesso em: 24 abr. 2017.

HOBBYKING. **S800 Sky Shadow-S FPV Flying Wing 820mm (32.3")**. 2017. Disponível em: <https://hobbyking.com/en_us/s800-sky-shadow-s-kit.html>. Acesso em: 15 set. 2017.

IBGE, **Recursos Naturais**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/recursosnaturais/vegetacao/manual_vegetacao.shtm>. Acesso em 30 set. 2016.

JACINTO, Leonardo Avelino de Lima. **Projeto de um controlador embarcado para um quadrirotor**. 2016. 53 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Eletrônica, Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors. 2016. Disponível em: <<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf>>. Acesso em: 02 out. 2017.

LONGHITANO, George Alfredo. **VANTS para sensoriamento remoto: aplicabilidade na avaliação e monitoramento de impactos ambientais causados por acidentes com cargas perigosas**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

MARTIN, Laura J; BLOSSEY, Bernd; ELLIS, Erle. Mapping where ecologists work: biases in the global distribution of terrestrial ecological observations. **Frontiers In Ecology And The Environment**, [s.l.], v. 10, n. 4, p.195-201, maio 2012. Wiley-Blackwell. <http://dx.doi.org/10.1890/110154>.

MCROBERTS, Michael. Introdução. In: MCROBERTS, Michael. **Arduino Básico**. São Paulo: Novatec, 2011. Cap. 1. p. 20-38. Disponível em: <<http://alfasol.centroruthcardoso.org.br/wp-content/uploads/sites/2/2014/10/capitulo9788575222744.pdf>>. Acesso em: 25 out. 2017.

MELO, Alexandre Secchin de. **Implementação de um Quadrotor como Plataforma de Desenvolvimento para Algoritmos de Controle**. 2010. 114 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2010.

MELO, Roseneia Rodrigues Santos de; COSTA, Dayana B. Uso de veículo aéreo não tripulado (vant) para inspeção de logística em canteiros de obra. In: SIBRAGEC ELAGEC, 2015, São Carlos. **Anais**. São Carlos: Marketing Aumentado, 2015. p. 674 - 681.

MICRODRONES. **Most popular in its class: md4-1000**. 2017. Disponível em: <<https://www.microdrones.com/en/mdaircraft/md4-1000/>>. Acesso em: 30 ago. 2017.

MILITARY.COM. **RQ-4 Global Hawk**. 2017. Disponível em: <<http://www.military.com/equipment/rq-4-global-hawk>>. Acesso em: 13 set. 2017.

MinGW Project. **A Minimalist Development Environmet for Native Microsoft Windows Applications**. Disponível em: <<http://www.mingw.org>>. Acesso em: 08 nov. 2017.

MISSION PLANNER. **Mission Planner Overview**. 2016. Disponível em: <<http://ardupilot.org/planner/docs/mission-planner-overview.html>>. Acesso em: 09 set. 2017.

MODULAÇÃO PPM e PWM. 2013. Disponível em: <<http://carlos-ch-santos.net/fich2/PPMPWM.pdf>>. Acesso em: 29 out. 2017.

MODULO Rf 433mhz. Disponível em: <<http://www.lojaarduino.com.br/pd-d0321-modulo-rf-433mhz-kit-transmissor-receptor-para-arduino-1009.html>>. Acesso em: 24 abr. 2017.

MÓDULO XBee S2C 802.15.4 Wire Antenna. 2010. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/produto/modulo-xbee-s2c-802-15-4-wire-antenna/>>. Acesso em: 24 abr. 2017.

NARDIN, Marcelo de. **Análise comparativa entre redes sem fio locais e metropolitanas, camada física.** 2008. 54 f. Monografia (Especialização) - Curso de Tecnologias, Gerência e Segurança de Redes de Computadores, Instituto de Informática, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

NAZA-M LITE User Manual. 2014. Disponível em: <http://dl.djicdn.com/downloads/naza-m-lite/en/NAZA-M_LITE_User_Manual_v2.00_en.pdf>. Acesso em: 10 out. 2017.

NEDELKOVSKI, Dejan. **DHT11 & DHT22 Sensors Temperature and Humidity Tutorial using Arduino.** 2016. Disponível em: <<http://howtomechatronics.com/Tutorials/Arduino/Dht11-Dht22-Sensors-Temperature-And-Humidity-Tutorial-Using-Arduino/>>. Acesso em: 27 set. 2016.

OLIVEIRA, Adonias Silva de. **Drones no monitoramento de incêndio florestal.** 2015. 24 f. Curso de Curso de Formação de Oficiais, Academia Bombeiro Militar do Estado de Goiás, Goiânia, 2015.

OLIVEIRA, Heber Vieira de. **Entidades do Setor Aéreo.** 2015. Disponível em: <<http://www.aviacao.gov.br/assuntos/o-setor-aereo/entidades-do-setor-aereo>>. Acesso em: 08 out. 2017.

OLIVEIRA, Marcelo Manoel de. **Estimativa do estado de carga de baterias em robôs móveis autônomos.** 2013. Dissertação (Mestrado em Dinâmica das Máquinas e Sistemas) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

ON SHINE. Datasheet Módulo RF433MHz TX. 2012. Disponível em: <http://www.webtronico.com/documentos/transmissor_rf_link.pdf>. Acesso em: 19 out. 2017.

PAULA, Júlio César. **Desenvolvimento de um vant do tipo quadrirrotor para obtenção de imagens aéreas em alta definição.** 2012. 110 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

PHOENIX MODEL. **GL03 - Ka-8b ELECTRIC 3500 ARF 1/4 ¼ SCALE.** 2017. Disponível em: <<http://phoenixmodel.com/Product.aspx?ProductId=294>>. Acesso em: 14 set. 2017.

RAO, Bharat; GOPI, Ashwin Goutham; MAIONE, Romana. The societal impact of commercial drones. **Technology In Society**, [s.l.], v. 45, p.83-90, maio 2016. Elsevier BV.

REMOTE Piloted Aerial Vehicles: An Anthology. Disponível em: <http://www.ctie.monash.edu/hargrave/rpav_home.html#Beginnings>. Acesso em: 24 ago. 2017.

SANTOS, César Sousa; CASTRO, Cássio Marcelo Silva; RIBEIRO, Tiago Ramos. Aplicações de imagens de satélite de alta resolução no planejamento urbano: o caso do cadastro técnico multifinalitário de Mata de São João, Bahia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, 15., 2011, Curitiba. **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Curitiba: Inpe, 2011. p. 3843 - 3850. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p1683.pdf>>. Acesso em: 16 nov. 2017.

SANTOS, Pedro Henrique Mosquera. **Desenvolvimento de um robô móvel autônomo de alta velocidade**. 2015. 65 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.

SCOFANO, Felipe dos Santos. **Desenvolvimento de um sistema de controle remoto para um robô de combate**. 2003. 117 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Controle de Automação, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Rio de Janeiro, 2003.

SILVA, Leandro Jamir. **Internet das Coisas**. 2017. 49 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, 2017.

SIMONI, José de Alencar; CHAGAS, Aécio Pereira. **Diagramas de Ellingham e de Van't Hoff: algumas considerações**. Quím. Nova, São Paulo, v. 30, n. 2, p. 501-504, abr. 2007.

SMITHSONIAN TROPICAL RESEARCH INSTITUTE. **ForestGEO**. 1980. Disponível em: <<http://www.forestgeo.si.edu>>. Acesso em: 31 ago. 2017.

SPARKFUN. **GPS Shield Hookup Guide**. 2003. Disponível em: <<https://learn.sparkfun.com/tutorials/gps-shield-hookup-guide>>. Acesso em: 28 out. 2017.

TORRES, Martha et al. Specification, assembly and configuration of autonomous multi-rotors. **Ieee Latin America Transactions**, [s.l.], v. 13, n. 12, p.3765-3773, dez. 2015. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE).

VALENTE, Bruno Alexandre Loureiro. **Um middleware para a internet das coisas**. 2011. 92 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências, Departamento de Informática, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2011.

VILANOVA JUNIOR, Natanael de Santana. **Utilização de sensores de dossel para adubação nitrogenada no algodoeiro**. 2016. 90 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Sistemas Agrícolas, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2016.

ZACARIOTTO, Wendler Augusto; ALVES, José Ricardo; COIADO, Lorenzo Campos. **Veículos Aéreo Não Tripulados para Monitoramento Ambiental**. In: CONGRESSO INTERNACIONAL SAE BRASIL DE TECNOLOGIA DA MOBILIDADE, 25., 2016, São Paulo.

ZANGIROLAMI, Gabriela Fernandes. **Avaliação da degradação ambiental do entorno da Mata do Quilombo (Campinas/SP) e proposta de recuperação**. 2013. 94 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2013.

ZHANG, Jian et al. Seeing the forest from drones: Testing the potential of lightweight drones as a tool for long-term forest monitoring. **Biological Conservation**, [s.l.], v. 198, p.60-69, jun. 2016. Elsevier BV.

APÊNDICES

APÊNDICE A – DRONE_TXgps433MHZ_dht22

Este código tem a tarefa de coletar dados advindos dos sensores embarcados do *drone* e armazená-los no cartão de memória, onde posteriormente envia esses dados via RF pelo RF433MHz TX a base.

```
// Este programa coleta e armazena dados no cartão de memória.
//Envia dados via RF quando solicitado pelo usuário.
#include <TinyGPS++.h>
#include <SoftwareSerial.h>
#include <SD.h>      // pino 4
#include <SPI.h>
#include "DHT.h"
#define DHTPIN 9
#define DHTTYPE DHT22
DHT dht(9, DHTTYPE);
const int chipSelect = 4;int r=1;
Sd2Card card;
SdVolume volume;
SdFile root;
File myFile ;
int RXPin = 2;
int TXPin = 3;
int GPSBaud = 9600;
TinyGPSPlus gps;
SoftwareSerial gpsSerial(RXPin, TXPin);
int lum=0;
unsigned long duration5;
unsigned long duration6;
int pin5 = 5int pin6 = 6;
```

```
// ----- INÍCIO SONAR ULTRASSÔNICO -----  
  
class Ultrasonic  
{  
public:  
Ultrasonic(int pin);  
void DistanceMeasure(void);  
long microsecondsToCentimeters(void);  
long microsecondsToInches(void);  
private:  
int _pin;  
long duration;  
}  
Ultrasonic::Ultrasonic(int pin)  
{  
_pin = pin;  
}  
void Ultrasonic::DistanceMeasure(void)  
{  
pinMode(_pin, OUTPUT);  
digitalWrite(_pin, LOW);  
delayMicroseconds(2);  
digitalWrite(_pin, HIGH);  
delayMicroseconds(5);  
digitalWrite(_pin, LOW);  
pinMode(_pin, INPUT);  
duration = pulseIn(_pin, HIGH);  
}  
long Ultrasonic::microsecondsToCentimeters(void)  
{  
return duration/29/2;  
}  
long Ultrasonic::microsecondsToInches(void)  
{
```

```

return duration/74/2;
}
Ultrasonic ultrasonic(16);

//----- FIM DO SONAR ULTRASSÔNICO -----

void setup()
{
Serial.begin(1200)
gpsSerial.begin(GPSBaud);
if (!SD.begin(4))
{
Serial.println("Falha ao acessar o cartao !");
Serial.println("Verifique o cartao/conexoes e reinicie o
Arduino...");
return;
}
Serial.println("Cartao iniciado corretamente !");
Serial.println();

dht.begin();

pinMode(pin5, INPUT);
pinMode(pin6, INPUT);
}
void transmite_dados()
{
gpsSerial.end(); // desabilita serial do gps
Serial.println("enviando dados via RF");

//----- INÍCIO COMUNICAÇÃO DO MÓDULO 433 MHZ -----

myFile = SD.open("test.txt");

```

```

if (myFile)
{
Serial.write("z");
while (myFile.available()) {
Serial.write(myFile.read());
}
Serial.write("b");
myFile.close();
} else
{
Serial.println("error opening sd.txt");
}
gpsSerial.begin(GPSBaud); //habilita serial do gps
while(1);
//----- FIM COMUNICAÇÃO DO MÓDULO 433 MHZ -----
}
void loop()
{
//----- IMPLEMENTAÇÃO DO MÓDULO GPS -----

while (gpsSerial.available() > 0)
if (gps.encode(gpsSerial.read()))
if (millis() > 5000 && gps.charsProcessed() < 10)
{
Serial.println(F("No GPS detected"));
while(true);
}
//----- IMPLEMENTAÇÃO DO MÓDULO GPS -----
duration5 = pulseIn(pin5, HIGH);
while(duration5 > 1500){
displayIng();
duration5 = pulseIn(pin5, HIGH);
//Serial.println("coletando dados");
}

```

```

delay(1000);
duration6 = pulseIn(pin6, HIGH);
if(duration6 > 1500) transmite_dados();
}
void displayIng()
{
long RangeInCentimeters;
ultrasonic.DistanceMeasure();
RangeInCentimeters=ultrasonic.microsecondsToCentimeters();

lum=analogRead(0);
lum=(lum-1023)*-1;

float h = dht.readHumidity();
float t = dht.readTemperature();

if (isnan(t) || isnan(h)) {
Serial.println("Failed to read from DHT");
}
myFile = SD.open("test.txt", FILE_WRITE);
if (myFile){

//----- COORDENADAS GPS SD -----

myFile.print(F("Location: "));
myFile.print(gps.location.lat(), 6);
myFile.print(F(", "));
myFile.print(gps.location.lng(), 6);
myFile.print(F("  Date/Time: "));
myFile.print(gps.date.month());
myFile.print(F("/"));

myFile.print(gps.date.day());
myFile.print(F("/"));

```

```
myFile.print(gps.date.year());
myFile.print(F(" "));
myFile.print(F("0"));

myFile.print(gps.time.hour());
myFile.print(F(":"));
myFile.print(F("0"));

myFile.print(gps.time.minute());
myFile.print(F(":"));
myFile.print(F("0"));

myFile.print(gps.time.second());

//----- FIM COORDENADAS GPS SD -----

myFile.print(" Umidade: ");
myFile.print(h);

myFile.print(" Temperatura: ");
myFile.print(t);
myFile.print(" *C ");

myFile.print(" Luminosidade: ");
myFile.print(lum);

myFile.print(" Distancia: ");
myFile.println(RangeInCentimeters);

myFile.close();
}
else
myFile.print("INVALID");
myFile.close();
}
```


APÊNDICE B – Código *echo.ino*

Esse código tem como função receber os dados das grandezas ambientais enviados pelo *drone* via RF pelo Arduino e enviá-los para a porta serial Central de Monitoramento.

```
/*echo
reenvia para o computador o dado recebido pela serial
interliga tx no rx
*/
byte byteRead;
void setup() {
//configura a comunicação serial com baud rate de 9600
Serial.begin(1200);
}
void loop() {
if (Serial.available())
{
byteRead = Serial.read();
Serial.write(byteRead);
}
}
```

APÊNDICE C – Código *upload.py*

Esse código desenvolvido na linguagem *python* versão 27 permite enviar os dados armazenados no arquivo de texto gravado na central de monitoramento à Internet, ou seja, ao Sistema supervisorio TAGO.

```
#!/c/Python27/python.exe
# -*- coding: latin-1 -*-

import sys                # Necessário para sys.argv
from tago import Tago     # Interface de programação TAGO

# Preparacao para a TAGO
TOKEN_TEMPERATURA      = '62603625-8e7b-40ff-a29b-e798b851ad1c' #
Temperatura
TOKEN_LUMINOSIDADE    = '6f989629-9c28-41a5-bdb3-10e1a5cc2280' #
Luminosidade
TOKEN_DISTANCIA       = '24936069-9428-4ec1-870d-6973fc47ae38' #
Distancia
TOKEN_UMIDADE         = '1c0242f7-d9f3-4247-a2ea-11d933462b66' #
Umidade
TOKEN_GPS              = 'c334d996-141e-4a42-8d08-70c28559ef48' #
GPS
device_temperatura    = Tago(TOKEN_TEMPERATURA).device
device_luminosidade  = Tago(TOKEN_LUMINOSIDADE).device
device_distancia      = Tago(TOKEN_DISTANCIA).device
device_umidade        = Tago(TOKEN_UMIDADE).device
device_gps            = Tago(TOKEN_GPS).device

# Funções

# Corpo principal do programa
# Nome do programa, argumento 1 e quantidade de argumentos,
# respectivamente: sys.argv[0] sys.argv[1] len(sys.argv)
```

```

if(len(sys.argv)!=2):
print("\tNão foi especificado o nome do arquivo de entrada
corretamente.")
print("\tForma de usar: %s <nome-do-arquivo-de-entrada>" %
sys.argv[0])
print("\tPrograma terminado.")
exit(1)

try:
file = open(sys.argv[1],"r")
except:
print("Não foi possível abrir o arquivo %s"%sys.argv[1])
print("\tPrograma terminado.")
exit(2)
for linha in file:          # Processa linha por linha lida do
arquivo
words=linha.split() # Separa os campos da linha lida
location=words[1]
split=location.split(",")
lat=split[0]; lng=split[1]
date=words[3]
split=date.split("/") # Quebra a data em dia, mes e ano
mes=split[0]
dia=split[1]
ano=split[2]
horario=words[4]          # Este horário tem zeros a
esquerda :- (
split=horario.split(":")      # Quebra horario em hora, minuto e
segundo
hora=split[0]; hora=int(hora)      # tira o zero a esquerda
minuto=split[1]; minuto=int(minuto)  # tira o zero a esquerda
segundo=split[2]; segundo=int(segundo) # tira o zero a esquerda
time=ano+"-"+mes+"-"+dia+"
"+str(hora)+":"+str(minuto)+":"+str(segundo)

```

```

idade=words[6]
temperatura=words[8]
luminosidade=words[11]
distancia=words[13]
print(linha)
# Agora que já lemos cada campo, vamos fazer upload de todos os
dados
payload_temp =
[{"variable":"Temperatura","value":temperatura,"unit":"C"}]
response = device_temperatura.insert(payload_temp)
print("Temperatura: %s"%response)

payload_lum =
[{"variable":"Luminosidade","value":luminosidade,"unit":"%"}]
response = device_luminosidade.insert(payload_lum)
print("Luminosidade: %s"%response)

payload_dist =
[{"variable":"Distancia","value":distancia,"unit":"m"}]
response = device_distancia.insert(payload_dist)
print("Distância: %s"%response)

payload_umid =
[{"variable":"Umidade","value":umidade,"unit":"%"}]
response = device_umidade.insert(payload_umid)
print("Umidade: %s"%response)

flat=float(lat); flng=float(lng)
payload_GPS =
[{"variable":"GPS","location":{"lat":flat,"lng":flng},"time":time,"unit":"GPS",}]
response = device_GPS.insert(payload_GPS)
print("GPS: %s"%response)

```

```
file.close()
exit(0)

# Posição de cada dado dentro da linha:
#('Location:', 1)
#('-22.782629,-47.156780', 2)
#('Date/Time:', 3)
#('4/2/2017', 4)
#('021:017:049', 5)
#('Umidade:', 6)
#('64.40', 7)
#('Temperatura:', 8)
#('24.00', 9)
#('*C', 10)
#('Luminosidade:', 11)
#('103', 12)
#('Distancia:', 13)
#('9', 14)

#Formato dos dados para fazer upload para o site do TAGO:
#{
#   "variable": "temperature",
#   "unit"      : "F",
#   "value"     : 55,
#   "time"      : "2015-11-03 13:44:33",
#   "location": {"lat": 42.2974279, "lng": -85.628292}
#}

#{
#   "variable" : "location",
#   "value": "My Address",
#           "location": { "lat": 42.2974279, "lng": -85.628292
#   }
#   "metadata": {"color":"green"}
```

```
#}
```

```
{
```

```
  "variable" : "temperature",
```

```
  "value": 71,
```

```
  "unit"  : "F",
```

```
  "metadata": {"color": "yellow"}
```

```
}
```

APÊNDICE D – *Script* limpa.sh

Script desenvolvido que permite remover os arquivos contidos no Sistema Supervisório TAGO, possibilitando o envio de novos dados.

```
# Para remover todos os registros de todos os buckets:
echo
curl -k -H "Content-Type: application/json" -H "Device-Token:
62603625-8e7b-40ff-a29b-e798b851ad1c" -X DELETE
https://api.tago.io/data/Temperatura?qty=all
echo
curl -k -H "Content-Type: application/json" -H "Device-Token:
1c0242f7-d9f3-4247-a2ea-11d933462b66" -X DELETE
https://api.tago.io/data/Umidade?qty=all
echo
curl -k -H "Content-Type: application/json" -H "Device-Token:
6f989629-9c28-41a5-bdb3-10e1a5cc2280" -X DELETE
https://api.tago.io/data/Luminosidade?qty=all
echo
curl -k -H "Content-Type: application/json" -H "Device-Token:
24936069-9428-4ec1-870d-6973fc47ae38" -X DELETE
https://api.tago.io/data/Distancia?qty=all
echo
curl -k -H "Content-Type: application/json" -H "Device-Token:
c334d996-141e-4a42-8d08-70c28559ef48" -X DELETE
https://api.tago.io/data/GPS?qty=all
echo
```

APÊNDICE E – outlier.py

Também desenvolvido na linguagem phyton.

```
#!/c/Python27/python.exe
# -*- coding: latin-1 -*-

import sys          # Necessário para sys.argv
from tago import Tago # Interface de programação TAGO
from math import sqrt

array_temperatura = {}
array_luminosidade = {}
array_umidade = {}

soma_temperatura = 0
soma_luminosidade = 0
soma_umidade = 0

media_temperatura = 0
media_luminosidade = 0
media_umidade = 0
media_distancia = 0

countlin=0        # Contador de linhas
remover = []      # Linhas a serem removidas, contendo outliers

# Funções
# Corpo principal do programa
# Nome do programa, argumento 1 e quantidade de argumentos,
# respectivamente: sys.argv[0] sys.argv[1] len(sys.argv)

if(len(sys.argv) !=2):
```



```
print("\tNão foi especificado o nome do arquivo de entrada
corretamente.")
print("\tForma de usar: %s <nome-do-arquivo-de-entrada>" %
sys.argv[0])
print("\tPrograma terminado.")
exit(1)

try:
file = open(sys.argv[1],"r")
except:
print("Não foi possível abrir o arquivo %s"%sys.argv[1])
print("\tPrograma terminado.")
exit(2)

for linha in file:          # Processa linha por linha lida do
arquivo
words=linha.split() # Separa os campos da linha lida

umidade=words[6]
temperatura=words[8]
luminosidade=words[11]

# Agora que já lemos cada campo, vamos iniciar o processamento.
# Primeiro é preciso calcular as médias. Então, temos que salvar
todos
# em arrays. Ao mesmo tempo, vamos somando e incrementando um
contador.

array_temperatura[countlin]=float(temperatura);
soma_temperatura=soma_temperatura+array_temperatura[countlin];
array_luminosidade[countlin]=float(luminosidade);
soma_luminosidade=soma_luminosidade+array_luminosidade[countli
n];
```

```

array_umidade[countlin]=float(umidade);
soma_umidade=soma_umidade+array_umidade[countlin];

countlin = countlin + 1

file.close()

# Calculando a media:
media_temperatura = soma_temperatura / countlin;      print
"\nMedia da temperatura: ",media_temperatura;
media_luminosidade = soma_luminosidade / countlin; print "Media
da luminosidade:",media_luminosidade;
media_umidade = soma_umidade / countlin;              print "Media
da umidade:      ",media_umidade,"\n";

# Calculando a variancia:
somavt = 0
somavl = 0
somavu = 0

for n in range(0, countlin):
somavt      =      somavt      +      pow((array_temperatura[n]      -
media_temperatura),2)
somavl      =      somavl      +      pow((array_luminosidade[n]      -
media_temperatura),2)
somavu = somavu + pow((array_umidade[n] - media_temperatura),2)

variancia_temp = somavt / countlin;
variancia_lum  = somavl / countlin;
variancia_umid = somavu / countlin;

# Calculando o desvio padrao
dp_temp      =      sqrt(variancia_temp);      print      "Desvio      padrao
temperatura:      ",dp_temp;

```

```

dp_lum      =  sqrt(variancia_lum);      print  "Desvio  padrao
luminosidade: ",dp_lum;
dp_umid = sqrt(variancia_umid); print "Desvio padrao umidade:
",dp_umid,"\n";

# Calculando os limites da temperatura:
inftemp = media_temperatura - (3 * dp_temp); print "Limite
inferior da temperatura: ",inftemp;
suptemp = media_temperatura + (3 * dp_temp); print "Limite
superior da temperatura: ",suptemp;

# Procurando por outliers na temperatura:
for n in range(0, countlin):
if array_temperatura[n] < inftemp or array_temperatura[n] >
suptemp:
print "\t",array_temperatura[n],"OUTLIER NA TEMPERATURA!"
if (remove.count(n) == 0): # Caso este n° de linha não estiver
na memória,
remove.append(n);      # Salva este número de linha para
posterior remoção.

# Calculando os limites da luminosidade:
influm = media_luminosidade - (3 * dp_lum); print "\nLimite
inferior da luminosidade: ",influm;
suplum = media_luminosidade + (3 * dp_lum); print      "Limite
superior da luminosidade: ",suplum;

# Procurando por outliers na luminosidade:
for n in range(0, countlin):
if array_luminosidade[n] < influm or array_luminosidade[n] >
suplum:
print "\t",array_luminosidade[n],"OUTLIER NA LUMINOSIDADE!"
if (remove.count(n) == 0): # Caso este n° de linha não estiver
na memória,

```

```
remove.append(n);          # Salva este número de linha para
posterior remoção.

# Calculando os limites da umidade:
infumid = media_umidade - (3 * dp_umid); print "\nLimite inferior
da umidade: ",infumid;
supumid = media_umidade + (3 * dp_umid); print "Limite superior
da umidade: ",supumid;



# Procurando por outliers na umidade:
for n in range(0, countlin):
if array_umidade[n] < infumid or array_umidade[n] > supumid:
print "\t",array_umidade[n],"OUTLIER NA UMIDADE!"
if (remove.count(n) == 0): # Caso este nº de linha não estiver
na memória,
remove.append(n);        # Salva este nº de linha para posterior
remoção.

# Grava um novo arquivo, sem os outliers:
file1 = open(sys.argv[1],"r") # Abre o arquivo original
limpo = "limpo_"+sys.argv[1]  # Nome do novo arquivo a ser
gravado
file2 = open(limpo,"w") # Cria em disco o novo arquivo (ainda
vazio)

countlin = 0
for linha in file1: # Processa linha por linha lida do arquivo
if(remove.count(countlin) == 0):
file2.write(linha)
countlin = countlin +1

exit(0)
```

APÊNDICE F – Autorização da ANAC

	REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL	
	AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL NATIONAL CIVIL AVIATION AGENCY	

CERTIDÃO DE CADASTRO DE AERONAVE NÃO TRIPULADA – USO NÃO RECREATIVO UNMANNED AIRCRAFT REGISTER CERTIFICATE – NON-RECREATIONAL	
<p>Esta certidão de cadastro, emitida de acordo com o RBAC-E nº 94, é válida até 11/11/2019, salvo em caso de cancelamento, suspensão ou revogação pela Autoridade de Aviação Civil Brasileira.</p> <p><i>This Register Certificate, issued in accordance with RBAC-E nr. 94, shall remain valid until 11/11/2019, unless it is cancelled, suspended or revoked by the Brazilian Civil Aviation Authority.</i></p> <p>Operador (Operator) JOSE RICARDO ALVES</p> <p>CPF (document): 188.172.348-85</p>	<p>Nº do cadastro (Register Number): PP-123456773</p> <p>Uso (Purpose): não recreativo (non-recreational) Ramo de atividade (Business): USO ACADÊMICO Fabricante (Maker): DJI Modelo (Model): F450 Nº de série (Serial Number): 1001349134 Peso máximo de decolagem (MTOW): 2,00 kg Foto (Picture):</p> 
<p>O descumprimento da regulamentação aplicável pode ensejar consequências administrativas, civis e/ou criminais para o infrator.</p>	<p>Informações adicionais (additional information): ESSE DRONE EM ESPECÍFICO, SERÁ UTILIZADO PARA ATIVIDADE ACADÊMICA PARA LEITURA DE GRANDEZAS AMBIENTAIS COM SENSORES DE TEMPERATURA, UMIDADE, LUMINOSIDADE. SERÁ FEITO EM VISADA COM O AUXÍLIO DE UM RÁDIO CONTROLADOR FUTABA 7C FASST.</p>
<p>O detentor desta certidão de cadastro (o operador) é considerado apto pela ANAC a realizar voos recreativos e não recreativos no Brasil, com a aeronave não tripulada acima identificada, em conformidade com os regulamentos aplicáveis da ANAC. É responsabilidade do operador tomar as providências necessárias para a operação segura da aeronave, assim como conhecer e cumprir os regulamentos do DECEA, da Anatel, e de outras autoridades competentes.</p> <p><i>The holder of this register certificate (the operator) is considered apt by Brazilian Civil Aviation Authority to perform recreational and non-recreational flights in Brazil, using the above identified unmanned aircraft, in conformity with the applicable regulations of Brazilian Civil Aviation Authority. It's the operator's responsibility to take the necessary actions to ensure a safe operation, as well as know and comply with the regulations of air traffic control (ATC), telecommunications, and other competent authorities</i></p>	
<p>A validade desta certidão pode ser verificada pelo link https://sistemas.anac.gov.br/SISANT/Aeronave/ConsultarAeronave</p>	
<p>Local e data da emissão (Place and date of issue) Brasília, 11 de novembro de 2017 Brasília, November 11th, 2017</p>	

Esta certidão de cadastro não é válida para aeronaves não tripuladas acima de 25 kg de peso máximo de decolagem, ou em voos além da linha de visada visual (BVLOS) ou acima de 400 pés ou 120 metros acima do nível do solo (AGL).
This register certificate is not valid for unmanned aircraft of more than 25 kg maximum takeoff weight, or flying beyond visual line of sight (BVLOS) or over 400 feet or 120 meters above ground level (AGL).