

**FUNDAÇÃO MATIAS MACHLINE**

**ALOUATTA**

**Sistema de Monitoramento de Vocalizações de Animais na Amazônia Brasileira.**

MANAUS - AM  
2019

## **ALOUATTA**

**Sistema de Monitoramento de Vocalizações de Animais na Amazônia Brasileira.**

### **Fundação Matias Machline**

Av. Ministro Mário Andreazza, nº 916 – Manaus – AM

CEP: 69.075-830

### **Estudantes:**

Rubem José Nobre Bezerra Júnior  
Renata Emanuele de Araújo Moraes  
Leticia Feleol Gomes

### **Orientador:**

Sandiego Pereira Moraes

### **Coorientador:**

Marcelo Ribeiro dos Santos

### **Período de Desenvolvimento:**

11/02/2019 a 10/12/19

MANAUS - AM  
2019

*Dedicamos a todos que apoiaram e acreditaram no nosso projeto. Especialmente ao nosso orientador e a todo o curso de eletrônica.*

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar, agradecemos a Deus que nos deu forças para prosseguirmos até aqui. Também ao professor Marcelo Ribeiro que nos ajudou com a ideia do projeto, e ao professor Sandiego de Moraes que nos incentivou a continuarmos até concluirmos. Por fim, aos nossos familiares e amigos os quais foram o apoio necessário de que precisávamos.

## RESUMO

A análise populacional dos animais do gênero *Alouatta*, conhecidos como Guaribas ou Bugios através do método mais comum atualmente é muito complexa, apresentando dificuldades para as instituições responsáveis pela vacinação contra a Febre Amarela, pois, como estes são os hospedeiros do vírus no meio silvestre, o monitoramento desses animais é essencial para o entendimento do deslocamento da doença através dos corredores ecológicos do Brasil.

O objetivo deste trabalho é desenvolver um sistema baseado em análise acústica populacional que permita a automação do processo de aferimento das populações dos animais desse gênero. É esperado também que a base tecnológica seja versátil e possibilite o estudo de populações de outros animais.

**Palavras-Chave:** animais, populações, automação.

## **ABSTRACT**

The populational analysis of the animals of the *Alouatta* genre, also known as Howler Monkeys, is very complex, which makes it difficult for the organizations that are responsible for the vaccination against Yellow Fever since these animals are the main hosts for the virus in the wild, the monitoring of their population is essential to understanding how the disease spreads through Brazil's ecological corridors.

This work's objective is to develop a system based on passive acoustics populational monitoring that permits the automatization of the population analysis process for this genre of animals. It is also expected that the technological framework may be versatile enough to allow for analysis of the population of different types of animal.

**Keywords: animals, population, automatization.**

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – <i>Alouatta seniculus</i> .....	12
FIGURA 2 – ARTIGO BASE SOBRE ACÚSTICA PASSIVA.....	13
FIGURA 3 – METODOLOGIA.....	15
FIGURA 4 – DESING ELETRÔNICO DO PROTÓTIPO.....	16
FIGURA 5 – PROTÓTIPO CONSTRUÍDO.....	17
FIGURA 6 – FLUXOGRAMA DE COLETA DE DADOS.....	17
FIGURA 7 – GRÁFICO DE UMA AMOSTRA DE VOCALIZAÇÃO.....	18
FIGURA 8 – MAPA DAS TRILHAS DO MUSEU DA AMAZÔNIA.....	19
FIGURA 9 – TESTE DE ALCANCE DO RÁDIO DO PROTÓTIPO.....	19
FIGURA 10 – MICROCONTROLADOR ATMEGA328P-PU.....	20
FIGURA 11 – AMPLIFICADOR OPERACIONAL LM358.....	21
FIGURA 12 – LORA TTL100-433.....	21
FIGURA 13 – RESISTORES.....	22
FIGURA 14 – CAPACITORES.....	22
FIGURA 15 – PORTA-PILHAS.....	23
FIGURA 16 – PLACA DE PROTOTIPAGEM UNIVERSAL.....	23

## **LISTA DE QUADROS**

QUADRO 1 – COMPONENTES UTILIZADOS.....	20
QUADRO 2 – CRONOGRAMA DAS ATIVIDADES.....	24
QUADRO 3 – CUSTO DOS MATERIAIS.....	24



## Sumário

AGRADECIMENTOS .....	4
RESUMO .....	5
ABSTRACT .....	6
LISTA DE FIGURAS.....	7
LISTA DE QUADROS .....	8
1. INTRODUÇÃO.....	10
2. VISÃO GERAL.....	12
3. ANÁLISE ACÚSTICA POPULACIONAL.....	13
4. OBJETIVO DO PROJETO .....	13
5. OBJETIVO E RELEVÂNCIA DO PROJETO .....	14
6. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO.....	14
7. METODOLOGIA .....	14
8. PESQUISA DE CAMPO .....	18
9. MATERIAIS.....	20
10. CRONOGRAMA .....	24
11. CUSTOS.....	24
12. RESULTADOS .....	25
13. CONCLUSÃO.....	25
14. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	26

## 1. INTRODUÇÃO

A febre amarela é uma doença presente a muito tempo no Brasil, e mesmo com os avanços tecnológicos e científicos ocorridos, não se encontrou uma maneira de eliminar essa enfermidade. São relatados diversos casos em diferentes regiões do país, e em algumas delas, o número de afetados aumenta rapidamente e passam a ser registrados como surtos. Dentre as formas de prevenção da doença, tem-se o combate ao mosquito transmissor - *Aedes aegypti* - e as campanhas de vacinação, porém a tecnologia, mesmo com pesquisas científicas, tem recebido pouca atenção, já que ao longo do tempo surgem novas variáveis nesse contexto, evidenciando a necessidade serem trabalhadas novas soluções para auxiliar no combate a esses surtos.

Segundo (FRANCO, 1969), a primeira manifestação da doença é datada do ano de 1685 em Recife. Acredita-se que foi trazida por barcos vindos das Antilhas, onde a população estava sofrendo com a enfermidade. Mais tarde, em 1686, foram registrados casos em Salvador os quais ocorreram até 1692. A partir desse momento, as autoridades da época buscaram formas de reduzir a presença do vírus, porém não sabiam do que se tratava. As primeiras ações voltaram-se para a vigilância sanitária, eficaz por muito tempo. Contudo, após décadas de novos estudos, descobriu-se que a febre amarela existia não apenas nas áreas urbanas, mas também em áreas de mata fechada, com origem silvestre.

Para (COSTA, Z. 2011) a descoberta do ciclo silvestre abriu espaço para diversas pesquisas epidemiológicas na busca dos possíveis causadores e vítimas. A partir disso, foi possível identificar a importância dos primatas não humanos na cadeia epidemiológica. Logo, conheceu-se que, durante o ciclo silvestre, os mosquitos hospedeiros do vírus picavam os macacos, dos quais alguns, mais suscetíveis, morriam pouco tempo depois. Isto sinalizou aos pesquisadores que a morte desses macacos seria um sinal de alerta para a população dando origem à ideia do sistema de vigilância dos primatas não humanos. Tal sistema tem ganhado notabilidade com o passar dos anos, e estudos são realizados em busca de formas mais eficazes de realizar essa vigilância.

Conforme (COSTA, Z. 2011), nos últimos anos, iniciativas de gestão têm buscado aproximar o processo de vigilância com o meio científico, relacionando a tecnologia e as pesquisas de modo a gerar informações indispensáveis sobre a constante mudança do comportamento da febre amarela no país. Todavia, ainda não há um mecanismo que trabalhe essa teoria. Além disso, as formas de monitoramento

das quais se tem conhecimento são através de métodos que exigem que os pesquisadores façam uma elaborada e complexa pesquisa de campo, detalhada por (BUCKLAND et al., 1993).

Logo, baseado na complexidade da análise e em uma melhora nas condições de controle e monitoramento em relação ao que foi relatado, este projeto busca o desenvolvimento de um método de vigilância, com o qual seja possível coletar dados de população de primatas baseado no proposto por (MARQUES et al., 2013), para testar a possibilidade da detecção de surtos de febre amarela em ambiente silvestre e uma possível melhora nos sistemas de prevenção, como a seleção de áreas de vacinação.

## 2. VISÃO GERAL

Após a identificação de surtos de febre amarela (FA) ocorridos entre os anos de 2016 e 2018, em São Paulo, descobriu-se que o progresso do vírus tem início na Amazônia, com o ciclo silvestre, e se estende até as regiões metropolitanas das cidades iniciando os surtos urbanos.

Além disso, observou-se que não apenas a população urbana sofre com a febre amarela, mas também os macacos do gênero *Alouatta*, também conhecidos como bugios ou guaribas, os quais fazem parte do ciclo silvestre da doença. A partir de pesquisas, percebeu-se que a morte desses animais é uma maneira de identificar a presença do vírus evitando que o mesmo chegue às cidades. Sendo assim, alguns métodos de monitoramento foram realizados, porém são arcaicos contendo falhas em seus resultados.

Dessa forma, notou-se a necessidade de desenvolver um mecanismo o qual se utiliza da tecnologia para ser capaz de indicar a circulação da febre amarela ainda no seu ciclo silvestre. Este seria mais eficaz e ajudaria tanto na preservação dos macacos desse gênero, quanto na não proliferação do vírus nas áreas urbanas.



Figura 1 – *Alouatta seniculus*

Fonte: [www.uniprot.org](http://www.uniprot.org)

## 3. ANÁLISE ACÚSTICA POPULACIONAL

Sequencialmente, verificou-se as formas que proporcionariam a aferição da presença do vírus silvestre de maneira mais eficaz e pontual. Logo, através de pesquisas, obteve-se conhecimento a respeito da análise acústica populacional proposta por (MARQUES et al., 2013), a qual seria favorável uma vez que os primatas desse gênero possuem um grito característico que pode alcançar até 132 decibéis, conforme afirma uma reportagem publicada pelo National Geographic Brasil.

Portanto, como tal método mostrou-se eficiente o projeto fez uso do mesmo para alcançar seus objetivos.

#### 4. OBJETIVO DO PROJETO

Sabendo-se das dificuldades que os métodos até então realizados para verificar a possível morte dos bugios por FA têm enfrentado, pensou-se na criação de um dispositivo eletrônico o qual conseguisse aferir a densidade populacional dos bugios a fim de evitar que mais venham a óbito e que a população urbana seja afetada pela doença.

Desse modo, o objetivo principal do trabalho é propor um método de vigilância para identificação dos surtos de FA no Brasil. Isso será feito por meio do desenvolvimento de uma solução eletrônica que uma software e hardware e seja capaz de aferir continuamente uma população de macacos.

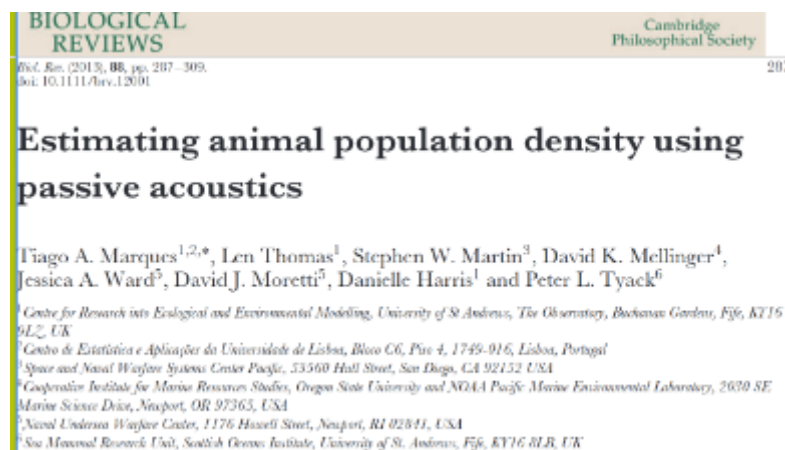


Figura 2 – Artigo base sobre acústica passiva

Fonte: onlinelibrary.wiley.com

#### 5. OBJETIVO E RELEVÂNCIA DO PROJETO

O projeto Alouatta objetiva impedir futuros surtos de febre FA, pois se sabe que mesmo com as formas de prevenção existentes como o combate ao mosquito

transmissor e as campanhas de vacinação, ainda ocorre a proliferação da doença em grande escala. Isto por meio de um sistema de monitoramento populacional dos macacos bugios, os quais também serão beneficiados uma vez que quanto mais cedo forem verificadas as quedas em sua população e confirmado que a causa foi o vírus da FA, as mortes de outros desses macacos serão evitadas.

Ademais, conforme observado em (MARQUES et al., 2013), o sistema de análise acústica, ou acústica passiva, pode ser utilizado com outras espécies de animais, mostrando-se eficiente do mesmo modo. Portanto, o projeto poderia evitar a extinção de espécies em ameaça já que teria um controle da densidade populacional das mesmas. Além de facilitar o trabalho daqueles interessados nesse meio, como os biólogos.

## **6. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO**

O projeto consiste no desenvolvimento de um dispositivo eletrônico capaz de aferir a densidade populacional a partir da vocalização dos macacos do gênero *Alouatta*, os quais são um indicativo da presença do vírus da FA em sua forma silvestre, a fim de prevenir o seu avanço até as cidades e, também, impedir que mais macacos morram vítimas da doença.

## **7. METODOLOGIA**

Quanto a metodologia, a utilizada no projeto foi a metodologia de pesquisa, pois a mesma é mais adequada para a realização desse, devido a sua perceptível complexidade e especificidade. Assim, para seu uso são necessárias as definições dos procedimentos técnicos. Os quais, são imprescindíveis durante a realização do projeto, além de servirem como um manual a ser seguido. A fim de se obter um melhor entendimento da utilização da metodologia de pesquisa, a mesma está estruturada abaixo:

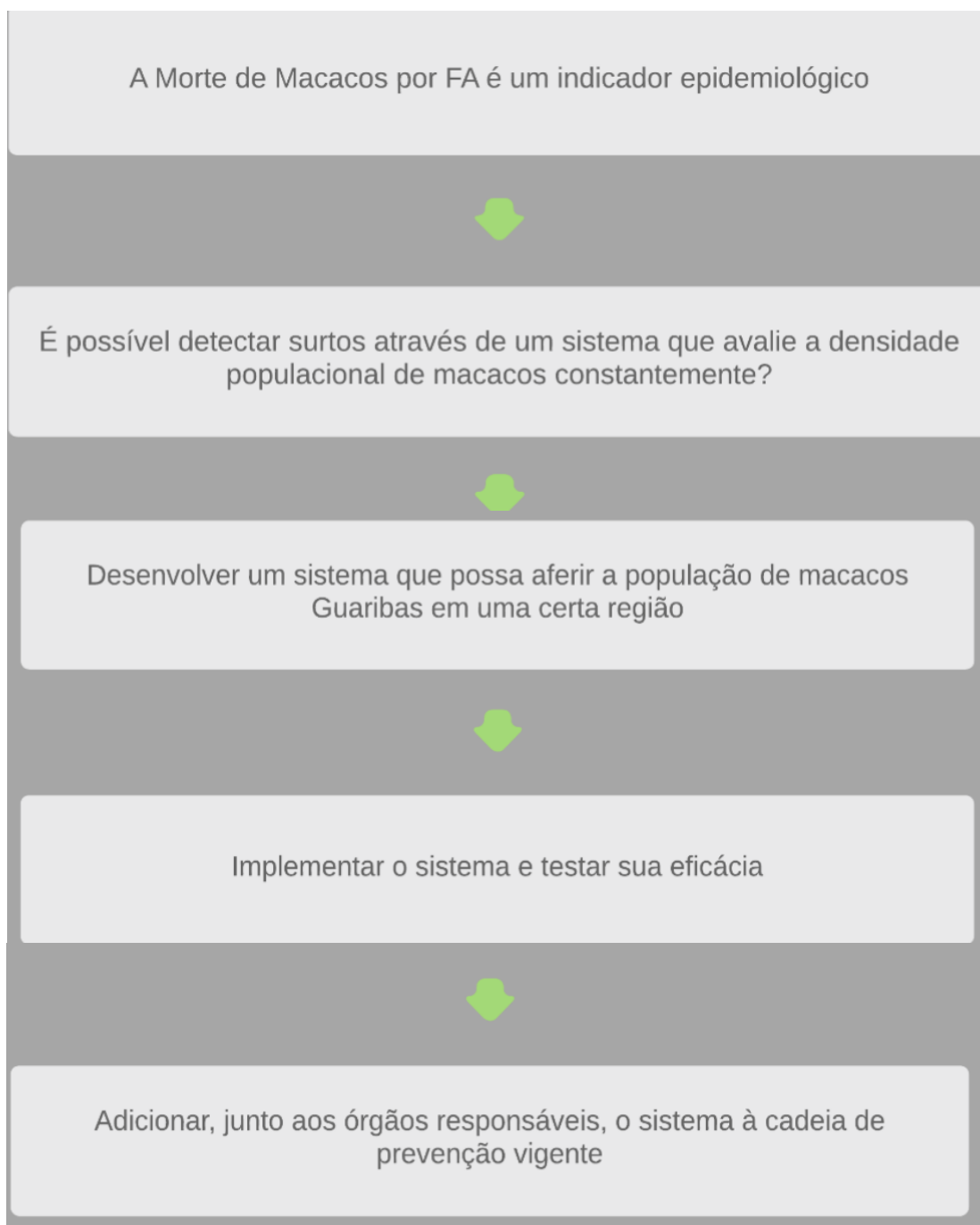


Figura 3 – Metodologia

Fonte: Autoria dos desenvolvedores

No caso, como base da metodologia escolhida anteriormente tem-se a utilizada para a automatização do processo de medição da densidade populacional, a qual é detalhada por (MARQUES et al., 2012): a acústica passiva. Neste trabalho, é detalhado um framework estatístico e as diferentes técnicas de coleta e análise de dados.

A acústica passiva é uma boa opção pois, além de permitir uma automatização relativamente simples do processo de coleta de dados, os animais do gênero *Alouatta*

possuem uma vocalização de longo alcance muito característica que pode ser detectada a vários quilômetros de distância (OLIVEIRA, D., 2002).

## 7.1 SISTEMA DE COLETA DE DADOS

O sistema escolhido para a coleta de dados consiste em um dispositivo fixo que faz uma coleta periódica de uma amostra de som de 128 milissegundos, com resolução de 10 bits e taxa de leitura de 4kHz através de um microfone amplificado e a transmite através de um rádio digital de longo alcance da tecnologia LoRa, que opera na frequência de 433MHz e taxa de dados de 300 bits por segundo.

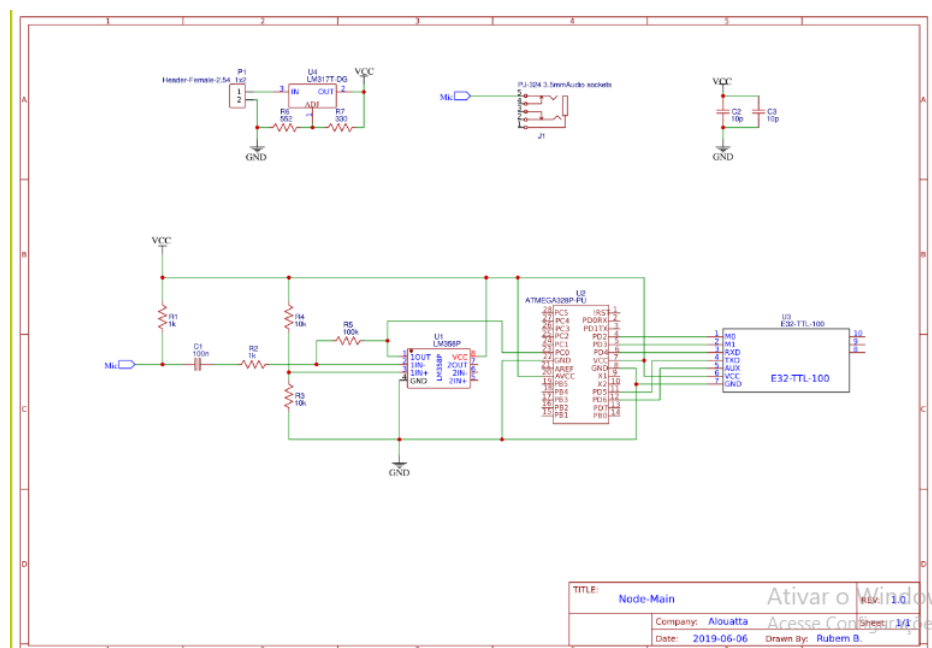


Figura 4 – Design eletrônico do protótipo

Fonte: Autoria dos desenvolvedores





Figura 5 – Protótipo construído  
Fonte: Autoria dos desenvolvedores



Figura 6 – Fluxograma de coleta de dados  
Fonte: Autoria dos desenvolvedores

O receptor de rádio LoRa estará conectado a um computador remoto e passará, através de um conversor UART/USB a amostra de áudio para um software em Python 3, que fará a Fast Fourier Transform (FFT) através da biblioteca NumPy, o que permite uma análise espectral do som. A partir do espectro sonoro, esperamos desenvolver um algoritmo que automatize o processo de detecção da vocalização dos animais.

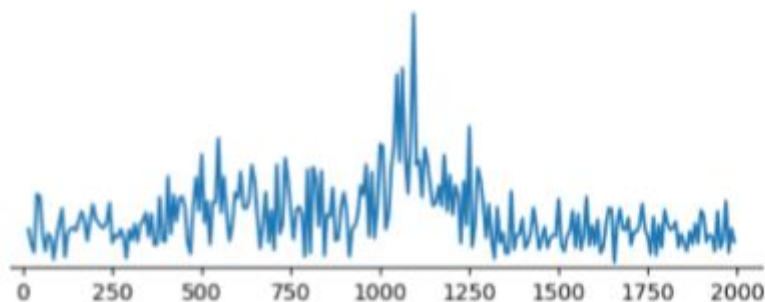


Figura 7 - Gráfico Frequência (Hz) x Amplitude resultado da FFT de uma amostra de vocalização de um animal da espécie *Alouatta belzebul*

Fonte: Autoria dos desenvolvedores

A partir dos dados de horário, intensidade e localização das vocalizações, será desenvolvido um banco de dados, sobre o qual ocorrerá uma análise estatística para a estimação da densidade populacional e posterior alerta aos pesquisadores e autoridades responsáveis.

## 7.2 PROCEDIMENTOS PARA ANÁLISE ESTATÍSTICA

O mecanismo básico de cálculo de densidade populacional proposto por (MARQUES et al., 2012) é representado pela seguinte equação:

$$\hat{D} = \frac{(1 - \hat{f}) \times n}{\hat{p} \times a \times \hat{r}} \quad \text{Eq. 1}$$

Onde  $n$  é o número de vocalizações detectadas,  $a$  é a área de alcance do sensor,  $\hat{r}$  é um fator que serve para converter o número de vocalizações em um determinado período de tempo em número de indivíduos,  $\hat{p}$  é uma estimativa da probabilidade de detectar uma vocalização dentro da área limitada e  $\hat{f}$  é uma estimativa para a taxa de falsos-positivos do software de detecção. Essas estimativas serão definidas a partir de testes em campo e revisão de literatura.

## 8. PESQUISA DE CAMPO

O projeto contou com uma pesquisa de campo a qual foi realizada no decorrer de seu desenvolvimento. A mesma aconteceu no dia 4 de outubro de 2019, no Museu da Amazônia em Manaus. Objetivava-se conversar com profissionais que trabalhassem com esse gênero de macacos e realizar algumas perguntas que serviriam de suporte

para a continuação do projeto. Sendo assim, a pesquisa foi executada e os objetivos alcançados.



Figura 8 – Mapa das trilhas presentes no Museu da Amazônia

Fonte: Autoria dos desenvolvedores

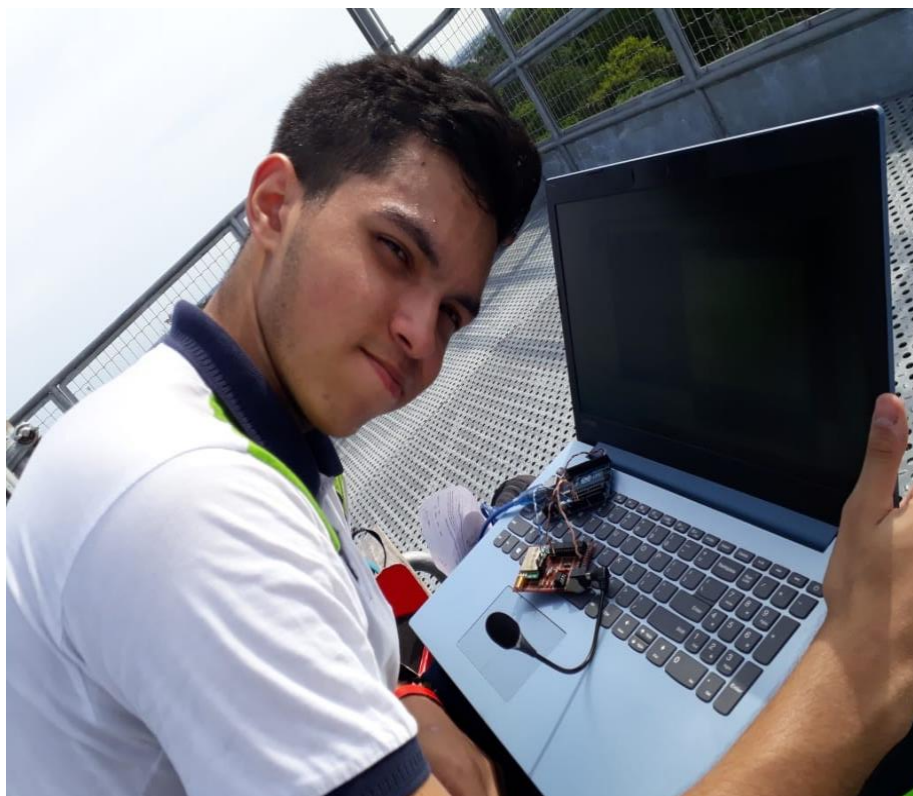


Figura 9 – Teste de alcance do rádio do protótipo

Fonte: Autoria dos desenvolvedores

## 9. MATERIAIS

O projeto em sua totalidade conta com os sistemas de hardware e software. Para a parte de hardware foram utilizados diversos componentes eletrônicos e algumas ferramentas necessárias para seu desenvolvimento. Enquanto o software fez uso de alguns recursos tecnológicos como aplicativos voltados para a programação do projeto. Todos esses materiais serão expostos abaixo.

### 9.1 HARDWARE

Componente	Especificação	Quantidade
Micro controlador	ATMega328P-Pu	1
Amplificador Operacional	LM358	1
Rádio Digital de Longo Alcance	Lora TTL-100-433	1
Capacitores de Bypass e Acoplamento	Variados	3
Resistores	Variados	5
Porta-Pilhas 6 unidades	-	1
Pilha AA	Alcalina 1,5V	6
Placa de Prototipagem Universal	Ilhada 5x7cm	1

Quadro 1 – Componentes utilizados

Fonte: Autoria dos desenvolvedores

#### 9.1.1 MICROCONTROLADOR

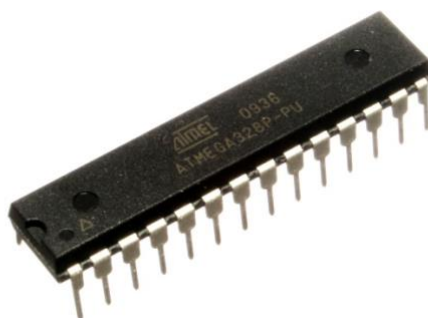


Figura 10 – Micro controlador ATmega328P-Pu

Fonte: commons.wikimedia.org

### 9.1.2 AMPLIFICADOR OPERACIONAL



Figura 11 – Amplificador Operacional

LM358

Fonte: produto.mercadolivre.com.br

### 9.1.3 LORA



Figura 12 – LoRa TTL-100-433

Fonte: vctec.co.kr

#### 9.1.4 RESISTORES



Figura 13 – Resistores

Fonte: pt.dreamstime.com

#### 9.1.5 CAPACITORES DE BYPASS E ACOPLAMENTO



Figura 14 – Capacitores de Bypass e Acoplamento

Fonte: www.nanalyze.com

#### 9.1.6 PORTA PILHAS



Figura 15 – Porta-Pilhas

Fonte: [jetlux.com.br](http://jetlux.com.br)

### 9.1.7 PLACA DE PROTOTIPAGEM UNIVERSAL

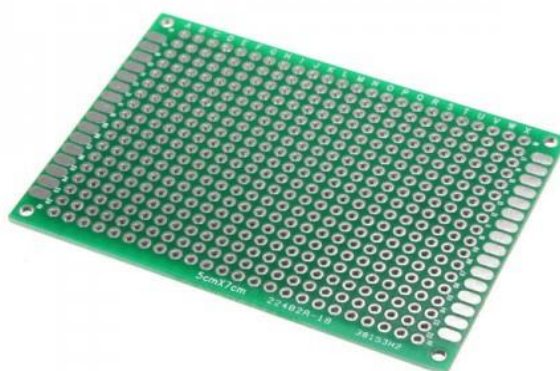


Figura 16 – Placa de Prototipagem Universal

Fonte: [www.vidadesilicio.com.br](http://www.vidadesilicio.com.br)

## 10. CRONOGRAMA



Atividade	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Definir a ideia											
Desenvolver o pré-projeto											
Desenvolver o sistema de microfones											
Projetar a análise acústica											
Testar o sistema de análise											
Pesquisa de Campo											
Relatório											
Apresentações Finais											

Quadro 2 – Cronograma das atividades relacionadas ao projeto

Fonte: Autoria dos desenvolvedores

## 11.CUSTOS

Os custos do desenvolvimento do projeto se resumiram aos custos dos materiais utilizados. Abaixo encontra-se a lista de materiais com seus respectivos custos:

Material	Qtd.	Custo
ATMega328P-Pu	1	R\$ 16,90
LM358	1	R\$ 0,89
LoRa	2	R\$ 55,05
Capacitores	3	R\$ 0,15
Resistores	5	R\$ 0,75
Porta-Pilhas	1	R\$ 6,90
Pilhas AA	6	R\$ 12,00
Placa de Fenolite	1	R\$ 1,90
<b>Total</b>		<b>R\$ 94,54</b>

Quadro 3 – Lista de custo dos materiais

Fonte: Valores pagos durante o desenvolvimento

## 12.RESULTADOS

### 12.1. RESULTADOS PARCIAIS

As etapas já concluídas da elaboração do projeto são as seguintes:



- a) Planejamento do fluxo de funcionamento do projeto elétrico;
- b) Planejamento do fluxo de funcionamento do sistema de software responsável pela captação, transmissão, análise sonora e análise estatística da população;
- c) Desenvolvimento do protótipo elétrico, que pode ser visto na Figura 3;
- d) Desenvolvimento do software embarcado que faz a captação e transmissão das amostras sonoras, além de softwares auxiliares com objetivo de ajudar nos desenvolvimentos futuros;
- e) Pesquisa de campo na Reserva Florestal Adolpho Ducke, no dia 11 de outubro de 2019, com objetivo de planejar os testes e conhecer melhor o ambiente em que os animais vivem, além de sua distribuição pelo ambiente da reserva. O projeto apresenta desenvolvimento parcial, com planejamento para resultados futuros.

## **12.2 RESULTADOS ESPERADOS**

As etapas pendentes para a conclusão do projeto são:

- a) Desenvolvimento de um algoritmo capaz de detectar uma vocalização a partir do espectro sonoro captado;
- b) Determinação das estimativas estatísticas de falsos positivos, probabilidade de detecção e fator de relação vocalização – população;
- c) Testes do protótipo em campo, com objetivo de ter uma melhor compreensão das características operacionais do rádio, alcance dos microfones e características sonoras dos animais em situações reais de operação.

No mês de dezembro de 2019, pretendemos terminar de desenvolver o algoritmo de detecção dos sons a partir da FFT e iniciar os testes em campo, a fim de coletar todos os dados necessários à análise populacional.

## **13. CONCLUSÃO**

A partir do desenvolvimento deste projeto, ficou claro que a análise acústica populacional é uma ferramenta poderosa e tecnologicamente acessível. Além disso, é clara a escassez de sistemas de monitoramento automatizados, tanto para os animais do gênero *Alouatta*, quanto para animais de outros gêneros. A tecnologia desenvolvida até o momento pode ser aplicada para outros tipos de animais e no futuro, o projeto pode ser expandido para um sistema universal de análise populacional.

#### **14.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

BUCKLAND, S. T. et al. Distance Sampling: Estimating Abundance of Biological Populations. *Biometrics*, [s.l.], v. 50,n. 3, p.891-1331, set. 1994. JSTOR.<http://dx.doi.org/10.2307/2532812>.

COSTA, Zouraide Guerra Antunes et al. Evolução histórica da vigilância epidemiológica e do controle da febre amarela no Brasil. *Revista Pan-amazônica de Saúde*, [s.l.], v. 2, n. 1, p.11-26, mar. 2011. Instituto Evandro Chagas.<http://dx.doi.org/10.5123/s2176-62232011000100002>.

MARQUES, Tiago A. et al. Estimating animal population density using passive acoustics. *Biological Reviews*, [s.l.], v.88, n. 2, p.287-309, 29 nov. 2012. Wiley.<http://dx.doi.org/10.1111/brv.12001>.

OLIVEIRA, Dilmar Alberto Gonçalves de; UNIVERSIDADEDE SÃO PAULO, Instituto de Psicologia. Vocalizações delongo alcance de *Alouatta fusca clamitans* e *Alouatta belzebul belzebul*: estrutura e contextos, 2002. 155p, il. Tese(Doutorado).

