

**LARISSA MANGOLIM AMARAL  
LUCIANA DA COSTA MARQUES  
PEDRO ORSCAR GALLO VAZ**

**SIMIOS - SISTEMA DE MONITORAMENTO  
INTERATIVO OPEN-SOURCE DE SÍMIOS**

São Paulo  
2018

**LARISSA MANGOLIM AMARAL  
LUCIANA DA COSTA MARQUES  
PEDRO ORSCAR GALLO VAZ**

**SIMIOS - SISTEMA DE MONITORAMENTO  
INTERATIVO OPEN-SOURCE DE SÍMIOS**

Trabalho apresentado à Escola Politécnica  
da Universidade de São Paulo para ob-  
tenção do Título de Engenheiro Eletricista  
com ênfase em Computação.

São Paulo  
2018

**LARISSA MANGOLIM AMARAL  
LUCIANA DA COSTA MARQUES  
PEDRO ORSCAR GALLO VAZ**

**SIMIOS - SISTEMA DE MONITORAMENTO  
INTERATIVO OPEN-SOURCE DE SÍMIOS**

Trabalho apresentado à Escola Politécnica  
da Universidade de São Paulo para ob-  
tenção do Título de Engenheiro Eletricista  
com ênfase em Computação.

Orientador:

Professor Livre-Docente Carlos Edu-  
ardo Cugnasca

Co-orientador:

Professor Doutor Bruno de Carvalho  
Albertini

São Paulo  
2018

Dedicatória

# AGRADECIMENTOS

Thanks...

*“Epígrafe”*

-- Autor

# RESUMO

Resumo...

**Palavras-Chave** – Palavra, Palavra, Palavra, Palavra, Palavra.

# ABSTRACT

Abstract...

**Keywords** – Word, Word, Word, Word, Word.



# LISTA DE FIGURAS

1	Algoritmo de trilateração (Fonte: autores) . . . . .	19
---	--	----

# LISTA DE TABELAS

1	Exemplos comerciais de coleiras de rastreamento de mamíferos da ATS . . .	18
---	---	----

# LISTA DE SÍMBOLOS

GPS *Global Positioning System*

BLE *Bluetooth Low Energy*

MVC *Model-view-controller*

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>11</b>
1.1	Objetivo . . . . .	11
1.2	Motivação . . . . .	11
1.3	Justificativa . . . . .	12
1.4	Organização do Trabalho . . . . .	13
<b>2</b>	<b>Aspectos Conceituais</b>	<b>14</b>
2.1	Macacos e Reservas Naturais . . . . .	14
2.2	Tecnologias Potenciais . . . . .	15
2.3	Modelos Comerciais . . . . .	17
2.4	Algoritmos . . . . .	18
	<b>Apêndice A</b>	<b>21</b>
	<b>Apêndice B – Beta</b>	<b>22</b>
	<b>Anexo A – Alpha</b>	<b>23</b>
	<b>Anexo B</b>	<b>24</b>

# 1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo, será explicado o escopo do trabalho - o que vai ser projetado -, quais resultados esperamos obter e por que o fazemos.

## 1.1 Objetivo

Este trabalho visa o projeto e implementação de um sistema capaz de obter a posição relativa de macacos em reservas, dentre outros dados do ambiente ou do animal.

Está dentro do escopo deste projeto: a escolha das informações a serem colhidas dos animais; o método pelo qual elas serão obtidas, calculadas ou inferidas; a maneira como ela será transmitida, armazenada e apresentada; a escolha e implementação das tecnologias utilizadas; e a avaliação de desempenho sobre sua operação.

A composição do sistema prevê dispositivos embarcados inseridos em mochilinhas anexadas ao macaco, que, em conjunto, compõem uma rede de sensores para adquirir as informações necessárias do ambiente e dos indivíduos. Além disso, dispositivos de comunicação inseridos no ambiente ou manipulados por pesquisadores realizarão a coleta dessas informações, a fim de enviá-las para retenção em um servidor. Este realiza o processamento e armazenamento dos dados que serão injetados em uma interface em software disponível para o usuário.

A discriminação do sistema é melhor realizada nos capítulos 4 e 6.

## 1.2 Motivação

Este trabalho visa atender às necessidade de monitoramento de saguis nas reservas do Instituto Butantã da Universidade de São Paulo. Dentre elas, destaca-se: a coleta de informações sobre os animais de forma simples e sem viés, tais como suas disposições em bando e suas temperaturas corporais; e a apresentação destas, de forma a facilitar análise

de dados em pesquisas acadêmicas e a manutenção da saúde dos animais.

Além disso, propõe-se que o este trabalho possa ser aplicado em qualquer reserva que necessite monitorar o comportamento de um bando de animais, sendo para tanto, veemente generalizado neste documento.

Ao final, espera-se obter um sistema que cubra o funcionamento mínimo de requisitos funcionais especificados no capítulo 4.

## 1.3 Justificativa

Animais silvestres são difíceis de serem observados em habitat natural por uma série de motivos. Primeiro, a partir do momento que o pesquisador se coloca no campo de visão do animal para observá-lo gera viés no comportamento deste, pois o animal também detecta a presença daquele e em muitas instâncias, age de forma irregular. Um caso específico se encontra no contexto de desamamentação de filhotes de macacos, cuja prática é realizada exclusivamente em um ambiente recluso e onde a presença de outrem é inadmissível, portanto o conhecimento sobre este comportamento é limitado para os pesquisadores.

Segundo, o auxílio tecnológico para essa tarefa é complicado uma vez que as tecnologias mais comumente usadas para monitoramento (câmeras de vídeo) e rastreamento (GPS) são descartadas pela densidade da mata, que dificulta a observação, e imprecisão da informação obtida, que impede a inferência de comportamentos, respectivamente.

Assim, fica claro que, tanto para pesquisa laboratorial quanto para controle da localização com fim de manutenção da saúde de animais silvestres, o estudo para emancipação tecnológica para controle e automação se faz necessário.

Primordialmente, o conceito que move este projeto está atrelado ao que foi tratado por Handcock (2009) de que a interação social biológica revela preferências sociais e comportamentais. Por exemplo, é citado como o mapeamento de encontros entre machos e fêmeas pode correlacionar com acasalamento, o que possibilita estudos de emancipação genética em uma população.

Corolariamente, permeia ao projeto o conceito de Saúde Única (One Health) abordado por Zinsstag (2011), onde indissocia-se a visão de saúde humana, animal e do ambiente. Como do ponto de vista biológico o estudo do comportamento animal permite novas conclusões sobre seu comportamento em reservas e cativeiro, e sob o ponto de vista veterinário a análise dos dados sobre o animal e seu ambiente leva a melhoras na manutenção

da saúde deste e do ambiente, sob ambos vê-se um impacto na saúde do homem. O sistema pode, por exemplo, ajudar na prevenção de febre amarela, por meio de coleta de dados em populações de animais alvos da doença.

## 1.4 Organização do Trabalho

O capítulo 2 deste trabalho relata os estudos realizados sobre conceitos fenotípicos e comportamentais do grupo de foco, sobre o contexto de pesquisa destes animais e sobre tecnologias voltadas para redes de sensores biológicos potencialmente válidas para este projeto.

O capítulo 3 trata da forma como o planejamento do sistema deverá ser pensado, enfatizando aspectos de projeto de sistemas embarcados.

No capítulo 4 são indicados os requisitos funcionais e não funcionais levantados e algumas das possíveis soluções para essas problemáticas.

O capítulo 5 destrincha as tecnologias de fato selecionadas para serem utilizadas no sistema a ser implementado, considerando seus pontos falhos mas acentuando o motivo de terem sido escolhidas.

O capítulo 6, por sua vez, trabalha de fato a projeção do sistema seguindo todos os princípios estudados nos capítulos anteriores para que esteja clara a maneira de implementá-lo. Neste mesmo capítulo, os aspectos que tocam a implementação do sistema, que consideram a parte prática do objeto de estudo, também são descritos.

Por fim, no capítulo 7 são mostrados os resultados obtidos a partir do sistema desenvolvido através de validações e testes quantitativos e qualitativos de desempenho e satisfação.

## 2 ASPECTOS CONCEITUAIS

Alguns dos principais conceitos para compreensão e contextualização deste projeto são trabalhados neste capítulo.

### 2.1 Macacos e Reservas Naturais

Para melhor compreensão do aspecto biológico que este trabalho toca, foi realizada uma entrevista com a professora Cristiane Pizzutto, que pode ser vista na íntegra no apêndice 1 deste documento.

A partir desta, foi possível quantificar alguns parâmetros importantes para o dimensionamento do projeto, tal como a quantidade comumente observada de animais em bandos de reservas e cativeiros, para qual foi assegurado que, considerando um bando de dez macacos, estaríamos abrangendo seguramente o suficiente.

Também foi possível notar como a tarefa de observação para aquisição de dados relativos aos animais, tais como sinais vitais, movimentação e alimentação, é exaustiva, toma tempo e pode ser objetiva o bastante para que possa ser realizada por um sistema remoto.

A parte subjetiva do levantamento de dados está relacionada às atividades e interações dos animais, que normalmente só podem ser adquiridos por observação direta. Essa é a parte que nosso projeto tenta abordar e que nos fez perceber que talvez, para cativeiro, o auxílio de câmeras com alguma inteligência seria bem vindo.

Outra questão levantada é de como estes dados são digeridos. A pesquisadora aponta que a manipulação dos dados é manual e que utilizam planilhas para obter estatísticas. Considerando a quantidade massiva de dados, seria interessante pensar em injetar conceitos de Big Data.



## 2.2 Tecnologias Potenciais

### Redes de Sensores Sem Fio

A emergência da tecnologia de Redes de Sensores Sem Fio (RSSF) permitiu não somente o monitoramento das variáveis de um objeto, mas também o supervisionamento de todo o contexto em que ele está incluído e da interação dele com os demais pontos do sistema sendo sensoriados.

RSSFs são especialmente relevantes quando se tratando de ambientes cuja área que deve ser coberta é muito extensa. Estas redes são compostas por nós interligados, em que cada nó deve ter sensores, processamento, memória, antena e bateria independentes e sustentáveis.

Dada essa composição, as RSSFs são capazes de satisfazer áreas de cobertura muito extensas e são ótimas para criar integração entre elementos que estão, localmente, constantemente conjuntos.

Por isso, compõem uma tecnologia ótima para organizações biológicas, que envolvem grandes populações distribuídas, sendo, portanto, frequentemente aplicadas em sistemas agrícolas.

Como enfatizado por Handcock (2009), para animais essa utilidade também é incluída, mas prevê algumas ressalvas. Uma delas considera a situação de que o animal de vida livre pode permanecer por semanas fora do alcance de pontos de acesso que recebam seus dados e, por esse motivo, cada nó da rede deverá possuir bateria e memória suficientemente robustas. Para reduzir o tempo de ausência de resposta de um determinado indivíduo, é possível implementar escuta nos próprios nós da rede, de forma que os animais que entrarem em contato entre si mantenham as informações dos demais, aumentando a chance de que algum deles possa transmiti-las para o servidor no alcance de pontos de acesso. Essa prática, no entanto, exige ainda mais energia e armazenamento.

RSSFs são, por vezes, estudadas para posicionamento em ambientes internos, principalmente atreladas ao uso de pontos de acesso Wi-fi, que já são naturalmente alocados nesses espaços para uso de internet.

### Bluetooth Low Energy (BLE)

O Bluetooth Low Energy vem como alternativa ao Wi-fi, com menor alcance mas o superando pelo baixo consumo energético, especialmente para aplicações em locais nos quais a disponibilidade energética é limitada e inconstante. Isso é equilibrado por otimizações

na arquitetura de dispositivos com BLE que, de certa forma, reduzirá sua eficiência. Um exemplo desse tipo de otimização é o funcionamento do relógio que, na maioria dos dispositivos, possui hardware com resolução elevada.

Como é enfatizado por Amaral e Biscaro (2017), o BLE também possui baixo custo e disseminação eminente, com o apoio da Apple no lançamento do IBeacon e integração mobile.

Este projeto de fato é ambientado em local com indisponibilidade energética e, ao mesmo tempo, não se é requisitado alto processamento. Assim, foi escolhido trabalhar com o Bluetooth e, por isso, sua arquitetura será explanada brevemente.

O BLE possui duas estruturas principais: o GAP (*Generic Access Profile*) e o GATT (*Generic Attribute Profile*). O GAP é responsável pela visibilidade dos dispositivos e pelo controle das conexões entre os mesmos. Para isso, os dispositivos são categorizados como periférico (dispositivos menores que consomem menos energia e processamento e se conectam ao dispositivo central) ou central.

Os dispositivos periféricos se anunciam para tornarem-se visíveis através de pequenos pacotes que são enviados periodicamente em broadcast. Tais pacotes são denominados *Advertising Data* e constam de até 31 bytes. Os dispositivos centrais são responsáveis pela escuta. Recebem os pacotes anunciados pelos periféricos e identificam se desejam realizar conexão e respondem o respectivo dispositivo. Uma vez que a conexão é estabelecida, o broadcast é normalmente interrompido e é estabelecido um serviço GATT, concluindo que um periférico só possa se conectar a um dispositivo central de cada vez.

O GATT, por sua vez, define a forma como dois dispositivos BLE transferem dados através de uma conexão dedicada bidirecional entre eles. Para isso, haverá uma topologia mestre (GATT Client - que faz o request) escravo (GATT Server - que faz o response).

**Rádio** A aplicação tecnológica para rastreamento de animais mostra-se limitada a transmissores de rádio por muitos anos, por mais que a tecnologia de localização para aplicações humanas já o tenha superado de longe.

O RFID foi bastante usado para obter informações relacionadas à condição do animal identificado. Recentemente, estes transmissores têm sido também utilizados para detectar encontros sociais entre animais através de picos de intensidade do sinal de rádio sendo transmitido.

**GPS** A emancipação do GPS aplicado ao smartphone praticamente trivializou a tarefa de localização, principalmente quando associada à mobilidade e roteamento.

A integração de tal tecnologia em sistemas biológicos demonstra uma tentativa de integrar o sensoriamento da interação do animal com o ambiente, como é salientado por Handcock [5].

O GPS, no entanto, tem uma série de complicações. Primeiramente, sua precisão em baixa escala é bem complicada. Handcock afirma que para obter boa acurácia, é necessário ter uma taxa de amostragem relativamente alta, o que é bastante ruim para a sustentabilidade da memória e da energia do sistema.

Um outro problema está relacionado à pouca praticidade do módulo GPS, que apresenta peso relativamente elevado (aproximadamente 10g) dependendo do animal que está sendo rastreado.

## 2.3 Modelos Comerciais

Alguns modelos de coleiras voltadas a mamíferos são citadas na tabela a seguir. Os produtos são fornecidos pela empresa ATS que, infelizmente, não discrimina o porte recomendado do animal usuário em seu site, portanto só foi possível inferir o peso que o dispositivo deste projeto deveria ter confirmando o que havia sido relatado pelos pesquisadores: de algo de no máximo 10g, uma vez que macacos menores pesam cerca de 400g.

Por outro lado, foi possível conceber alguns potenciais modelos para o invólucro do produto final deste projeto, principalmente no que diz respeito ao material utilizado.

Como visto no item anterior, comercialmente é utilizado rádio na maior parte dos casos (M17X0 e M15X5) e, eventualmente, GPS (W500 - para o qual é possível notar que exige um peso bem superior ao limite estabelecido de cerca de 10g).

Tabela 1: Exemplos comerciais de coleiras de rastreamento de mamíferos da ATS

Nome	SM17X0 Mammal Collar, X-Small	M15X5 Mammal Zip-Tie Collar	W500 Wildlink GPS Logger, Small Collar
Imagem			
Peso	9 a 16g	10 a 40g	65 a 115g
Bateria	Lítio / 156 a 282 dias	Lítio / 195 a 596 dias	AA / 1,75 a 3,5 anos
Material	- Coleira de <b>neoprene</b> - Encapsulamento de resina a prova de água	- Coleira de <b>tubo de plástico (cable-tie)</b> - Encapsulamento de resina a prova de água	- Coleira de <b>neoprene ou nylon</b>

## 2.4 Algoritmos

Inicialmente, é necessário compreender uma forma de calcular a distância relativa entre os animais. De praxe, em RSSFs este cálculo pode ser feito de duas formas.

A primeira delas é utilizando a intensidade do sinal (*Received Signal Strength Indication* - RSSI). O cálculo da distância, neste caso, é dado pelo seguinte modelo proposto pela Texas Instruments, que é melhor detalhado por Dong e Dargie (2012).

$$RSSI = -10 \times n \times \log_{10} d + A \quad (2.1)$$

Sendo:

- $d$  a distância em metros
- RSSI a intensidade do sinal em dBm
- $n$  a constante de propagação do sinal
- $A$  a intensidade do sinal para 1 metro de distância

Essa é uma maneira simples de baixo custo de implementação, porém, como é bem

destacado por Larsson (2015), dada a alta variação de  $n$  devido a suscetibilidade do sinal à interferência do meio, demonstra-se um tanto imprecisa.

A constante de propagação pode ser determinada empiricamente. Se sabe  $n=2$  para o vácuo; no ar, valores coerentes estão entre 2.7 e 4. A determinação da constante para este projeto pode ser observada no apêndice.

Outra forma seria calcular a distância sabendo a velocidade de propagação do sinal no meio, dado o tempo que demora para que o sinal seja recebido a partir da implementação de um eco. Idealmente esta é uma abordagem muito mais precisa, que só é impossibilitada em casos que o hardware utilizado não possua relógio. No entanto, o BLE já é um padrão que possui temporização e sincronização deficientes, principalmente se considerando o tempo em que o dispositivo fica dormente.

Para este projeto, pretende-se implementar ambas as formas e verificar a precisão das mesmas.

Além disso, foi requerido desenvolver um algoritmo para obtenção do mapeamento da posição relativa dos macacos. Este tema já havia sido discutido por Amaral e Biscaro (2017) e, para este caso, o único algoritmo que se fez praticável é a trilateração.

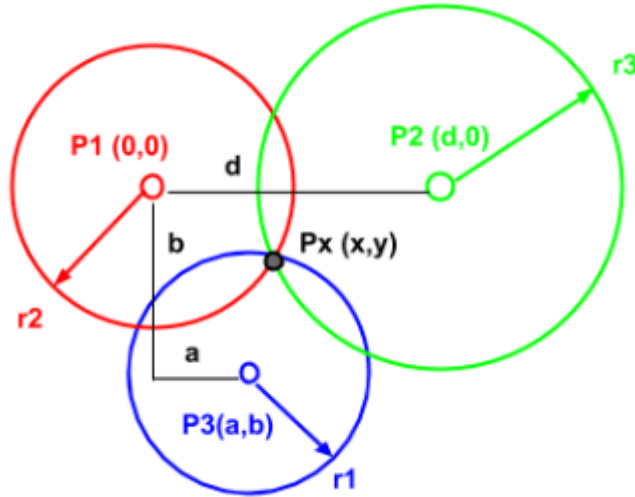


Figura 1: Algoritmo de trilateração (Fonte: autores)

Dada a figura acima, o ponto  $P_x$  pode ser calculado conhecendo-se os pontos fixos  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$ , as distâncias entre eles e as distâncias entre os mesmos e  $P_x$  ( $r_1$ ,  $r_2$  e  $r_3$ , respectivamente) a partir do seguinte equacionamento.

$$x = \frac{r_1^2 - r_2^2 + d^2}{2d} \quad (2.2)$$

$$y = \frac{r1^2 - r3^2 - x^2 + (x - a)^2 + b^2}{2b} \quad (2.3)$$

É notável que este algoritmo requer que existam pelo menos 3 pontos conhecidos. Por isso, normalmente é mais utilizado para o cálculo de posicionamento absoluto utilizando pontos de acesso (AMARAL L. et al, 2017), no entanto, é possível implementá-lo para posicionamento relativo adotando pontos de referência.

Portanto, o mapeamento dos macacos foi feito para cada macaco, que é centralizado em um sistema de coordenadas próprio. Um segundo macaco qualquer é utilizado como P2 e um terceiro (P3) é obtido através da lei dos cossenos (ver figura a seguir).

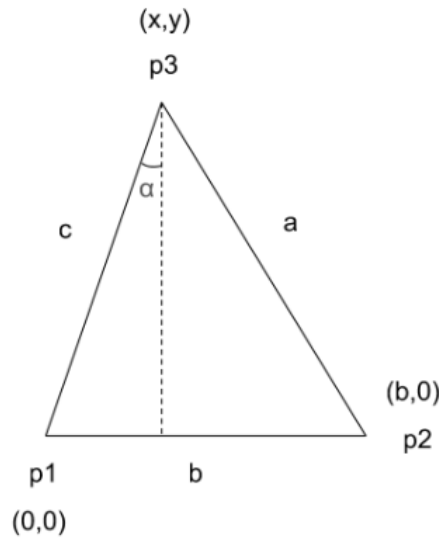


Figura 2: Pontos fixos relativos (Fonte: autores)

## APÊNDICE A

## APÊNDICE B – BETA



## ANEXO A – ALPHA

## ANEXO B