

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

**SIMIOS - SISTEMA DE MONITORAMENTO DE
INTERAÇÃO ENTRE SÍMIOS**

São Paulo
2018

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

SIMIOS - SISTEMA DE MONITORAMENTO DE INTERAÇÃO ENTRE 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 OSCAR GALLO VAZ**

SIMIOS - SISTEMA DE MONITORAMENTO DE INTERAÇÃO ENTRE SÍMIOS

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

Área de Concentração:

Engenharia Elétrica

Orientador:

Prof. Dr. Carlos Eduardo Cugnasca

Co-orientador:

Prof. Dr. Bruno de Carvalho Alber-
tini

São Paulo
2018

Prof. Livre-Docente Carlos Eduardo
Cugnasca

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo-na-publicação

Amaral, Larissa Mangolim

Sistema de Monitoramento de Interação entre Símios / L. M. Amaral, L. C. Marques, P. O. G. Vaz -- São Paulo, 2018.

76 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas.

1.MONITORAMENTO BIOLÓGICO 2.WIRELESS 3.PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas II.t. III.Marques, Luciana da Costa IV.Vaz, Pedro Oscar Gallo

AGRADECIMENTOS

Às nossas famílias e amigos, por todo o apoio, suporte e carinho imensuráveis.

Aos professores orientadores, agradecemos a dedicação para o auxílio intelectual e encaminhamento deste trabalho.

À Professora Doutora Cristiane Schilbach Pizzutto, por sua saborosa contribuição para nossa compreensão da óptica do cientista veterinário.

Ao professor Reginaldo Arakaki, por ter disponibilizado os recursos e orientações iniciais e com isso ter permitido os primeiros passos do projeto.

À professora Lúcia Filgueiras, por ter dado uma visão multidisciplinar do que se poderia fazer no aprimoramento da Interface Humano-Computador e pelo incentivo e ajuda na determinação do domínio do problema.

Ao professor Jorge Kinoshita, pelo apoio semanal na operação com Sistemas Embarcados, pelas críticas construtivas e preocupação sincera com o sucesso do trabalho.

Ao pós-doutorando Wilian França Costa, pela orientação para a familiarização das ferramentas do projeto durante todo o período de sua elaboração.

Aos demais professores e colegas que contribuíram através de nossa formação como engenheiros e como pessoas.

“Evidentemente, para os que não têm consciência do significado das heranças paisagísticas e ecológicas, os esforços dos cientistas que pretendem responsabilizar todos e cada um pela boa conservação e pelo uso racional da paisagem e dos recursos da natureza somente podem ser tomados como motivo de irritação, quando não de ameaça, a curto prazo, à economicidade das forças de produção econômica.”

-- Aziz Nacib Ab’Sáber

RESUMO

Este trabalho envolve a projeção e implementação de um sistema capaz de auxiliar pesquisadores de saúde e biologia animal no monitoramento comportamental de uma população de animais em estudo dentro de reservas. Para tal, foi elaborada uma arquitetura composta por uma rede de sensores, um banco de dados e uma aplicação *web*. As informações sobre a localização dos animais são obtidas pela rede de sensores e armazenadas no banco de dados, onde são acessadas pela aplicação *web* para serem analisadas por pesquisadores. O desenvolvimento deste sistema tem como finalidade atender às necessidades de monitoramento de símios na reserva natural do Instituto Butantan da Universidade de São Paulo. Contudo, pretende-se que sua aplicação seja possível em distintas reservas, para a observação de diferentes animais e que possa eventualmente ser expandido para captar demais variáveis de controle relevantes para o biólogo ou veterinário. Finalmente, o sistema obtido cumpre os requisitos definidos e demonstra escalabilidade.

Palavras-Chave – Monitoramento animal remoto, Redes de sensores sem fio, Sistema embarcado.

ABSTRACT

This study presents the design and implementation of an entire system capable of assisting animal health and biology researchers monitoring the object of study. Therefore, an embedded wearable was programmed so that the system could provide the researcher remotely with the observed animals' location. For that to happen, they would have to be living in a natural reserve mapped by a wireless sensor network. This system's purpose is to meet Instituto Butantã's needs regarding monitoring apes inside the reserve. However, it is expected that this system is also applicable inside many different reserves, for distinct mammals observation and open to be expanded so that it shall be able to monitor as many other control variables the biologist or veterinary finds relevant. The final work meets the defined requirements and shows scalability.

Keywords – Remote animal monitoring, Wireless sensor network, Embedded.

LISTA DE FIGURAS

1	Algoritmo de trilateração	23
2	<i>Cellbased</i> - área de intersecção	24
3	<i>Cellbased</i> - área de intersecção fora do alcance	25
4	Resumo gráfico do sistema	28
5	Componentes do <i>SensorTag</i>	30
6	Diagrama esquemático da arquitetura	32
7	Funcionamento conjunto dos nós do sistema.	37
8	Máquina de estados representando o funcionamento do módulo controlador	38
9	Diagrama de classes gerado pela ferramenta de engenharia reversa do MySQL	39
10	Mapa do site	41
11	Gráfico das distâncias medidas	43
12	Gráfico do erro quadrático para as distâncias medidas em $n=2.95$	43
13	Gráfico das distâncias calculadas para cada n	61
14	Gráfico do erro quadrático para cada n	62
15	Protótipo da <i>homepage</i> não autenticada e tela de entrada	63
16	Protótipo da <i>homepage</i> autenticada e da tela de listagem de usuários	64
17	Protótipo das tela de cadastro de usuários e listagem de símios	65
18	Protótipo da tela do mapa	66
19	Modelo de mapeamento dos pontos de acesso	69
20	Quantos anos você tem?	75
21	Qual sua área de atuação?	75
22	Qual sua formação?	76
23	Já participou de pesquisa de campo envolvendo animais?	76

24	Já participou de pesquisa em laboratório envolvendo monitoramento do comportamento de animais?	76
25	Mapa do Desafio	77

LISTA DE TABELAS

1	Exemplos comerciais de coleiras de rastreamento de mamíferos da ATS . .	22
2	Distâncias medidas pelo ponto de acesso e pela trena	42
3	Erro quadrático médio e máximo para cada n	42
4	Intensidades observadas para cada distância medida com trena	60
5	Erro quadrático médio e máximo para cada n	61
6	Primeiro Perfil Levantado	74
7	Segundo Perfil Levantado	75

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AP	<i>Access Point</i>
CRUD	<i>Create Read Update Delete</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
ID	Identificador
MCU	<i>Microcontroller Unit</i>
MVC	<i>Model-view-controller</i>
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i>
RFID	<i>Radio-Frequency Identification</i>
RSSI	<i>Received Signal Strength Indication</i>
RSSF	Redes de Sensores Sem Fio
SQL	<i>Structured Query Language</i>
TI	<i>Texas Instruments</i>
UART	<i>Universal Asynchronous Receiver/Transmitter</i>
UX	<i>User Experience</i>

SUMÁRIO

1	Introdução	15
1.1	Objetivo	15
1.2	Motivação	15
1.3	Justificativa	16
1.4	Organização do Trabalho	17
2	Aspectos Conceituais	19
2.1	Macacos e Reservas Naturais	19
2.2	Tecnologias Potenciais	19
2.3	Modelos Comerciais	21
2.4	Algoritmos	22
3	Metodologia do Trabalho	26
4	Especificação de Requisitos de Sistema	27
5	Tecnologias Utilizadas	29
5.1	Dispositivos Embarcados	29
5.1.1	Sensortag	29
5.2	Servidor	30
5.3	Software	31
6	Projeto e Implementação	32
6.1	Módulo Do Target	33
6.1.1	Comunicação unidirecional	33
6.1.2	Temporização	33

6.1.3	Eficiência Energética	35
6.2	Módulo Do Ponto De Acesso	35
6.3	Módulo Central	35
6.3.1	Integração dos pontos de acesso e target	36
6.4	Módulo Do Controlador	37
6.5	Banco De Dados	39
6.6	Aplicação <i>Web</i>	40
7	Testes e avaliação	42
8	Considerações Finais	44
8.1	Conclusões do Projeto de Formatura	44
8.2	Contribuições	46
8.3	Perspectivas De Continuidade	47
	Referências	49
	Apêndice A – Entrevista com a prof^a Dr^a Cristiane Schilbach Pizzutto	51
	Apêndice B – Determinação da constante de propagação	60
	Apêndice C – Fluxo de telas da aplicação	63
	Apêndice D – Memorial de Cálculo do Período do Timer	67
	Apêndice E – Estimativa financeira e otimização de custos	69
	Apêndice F – Estudo para aplicação do projeto em Realidade Aumentada	71
F.1	Stakeholders	71
F.2	Papéis e Variáveis de Perfil	72
F.3	Necessidades	72

F.4	Instrumentos	73
F.5	Amostra	73
F.6	Resultados	74
F.7	Registro das respostas do questionário	75
F.8	Mapa do Desafio	76

1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo será explicado o escopo do trabalho que foi projetado, qual sua motivação e quais resultados esperava-se obter.

1.1 Objetivo

Este trabalho visava o projeto e implementação da base de um sistema capaz de obter e apresentar a localização de animais, dando abertura para que possa ser expandido e que sua complexidade possa ser refinada a ponto de ser aplicável em reservas naturais, chegando a capturar inclusive outros dados de interesse acadêmico.

Esteve dentro do escopo deste projeto: a escolha das informações sendo colhidas dos animais; o método pelo qual elas são obtidas, calculadas ou inferidas; a maneira como elas são transmitidas, armazenadas e apresentadas; a escolha e implementação das tecnologias utilizadas; e a avaliação de desempenho sobre sua operação.

A composição do sistema prevê que dispositivos embarcados inseridos em mochilas anexadas ao macaco possam ser mapeados por uma rede de sensores introduzida nas árvores do ambiente natural. Dispositivos centrais de comunicação também inseridos no ambiente coletam essas informações, a fim de enviá-las para retenção em um servidor. Este realiza o processamento e armazenamento dos dados que são 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 atende às necessidade de monitoramento de símios 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, este trabalho pode ser aplicado em qualquer reserva que necessite monitorar o comportamento de um bando de animais, sendo para tanto, veemente generalizado neste documento.

Ao final, foi obtido um sistema que cobre 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. Um deles se trata de que 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.

Outro empecilho consta do fato de que o auxílio tecnológico para essa tarefa é complicado uma vez que as tecnologias mais comumente usadas para monitoramento (câmeras de vídeo) e rastreamento (*Global Positioning System* - GPS) são descartadas pela densidade da mata, que dificulta a observação, e imprecisão da informação obtida, que impede a inferência de comportamentos, respectivamente. Isso evidencia a necessidade de novas tecnologias a fim de automatizar os processos de pesquisa laboratorial e controle de localização de animais silvestres, tanto para o estudo sobre seu comportamento como para a manutenção de sua saúde.

Primordialmente, o conceito que moveu este projeto está atrelado ao que foi tratado em [1] 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 o projeto o conceito de Saúde Única (*One Health*) abordado em [2], 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 poderia, 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 foi 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 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.

No Apêndice A pode ser encontrada entrevista realizada com a professora veterinária Cristiane Pizzuto, que colabora com a percepção das dores do usuário do sistema.

O Apêndice B contém as medidas tomadas e cálculos realizados para a determinação da constante de propagação do meio, que é explicada no capítulo 2 onde é falado sobre os algoritmos utilizados.

O Apêndice C possui um compilado das imagens que formam o protótipo para as telas que foram desenvolvidas para a interface.

O Apêndice D documenta a pesquisa realizada sobre o uso de um *timer* interno ao dispositivo embarcado para a temporização de seu funcionamento.

O Apêndice E trata da estimativa financeira realizada para a implementação do sistema e de como esse custo pode ser otimizado.

O Apêndice F consta do estudo de usabilidade para o possível desenvolvimento de uma interface em realidade aumentada.

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 A 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 o projeto tenta abordar e que se fez perceber que talvez, para cativeiro, o auxílio de câmeras com alguma inteligência traria benefícios para o sistema.

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 em [1], 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.

• Rádio

A aplicação tecnológica para rastreamento de animais mostra-se insistente no uso de transmissores de rádio por muitos anos, por mais que a tecnologia de localização para aplicações humanas o tenha superado de longe com o auxílio do GPS.

O RFID (*Radio Frequency Identification*) 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 em [1].

O GPS, no entanto, tem uma série de limitações para a aplicação em questão. Primeiramente, sua imprecisão é um complicador em baixa escala. Em [1] é explicado que para se 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.

Finalmente, o GPS necessita da visibilidade de pelo menos quatro satélites para a determinação da localização, ao passo que a vegetação, quando muito densa, pode servir de bloqueio para a recepção do sinal.




2.3 Modelos Comerciais

Alguns modelos de coleiras voltadas a mamíferos são citadas na tabela 1. Os produtos são fornecidos pela empresa ATS (*Animal Traceability Solutions*) [3] 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 - Coleira de neoprene	Lítio / 195 a 596 dias - Coleira de tubo de plástico (cable-tie)	AA / 1,75 a 3,5 anos - Coleira de neoprene ou nylon
Material	- Encapsulamento de resina a prova de água	- Encapsulamento de resina a prova de água	

Fonte: autores

2.4 Algoritmos

Inicialmente é necessário compreender uma forma de calcular a posição dos animais através da distância entre macaco e ponto de acesso. 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* (TI), que é melhor detalhado em [4].

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

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 em [5], dada a alta variação de n devido a suscetibilidade do sinal à interferência do meio, demonstra-se um tanto imprecisa.

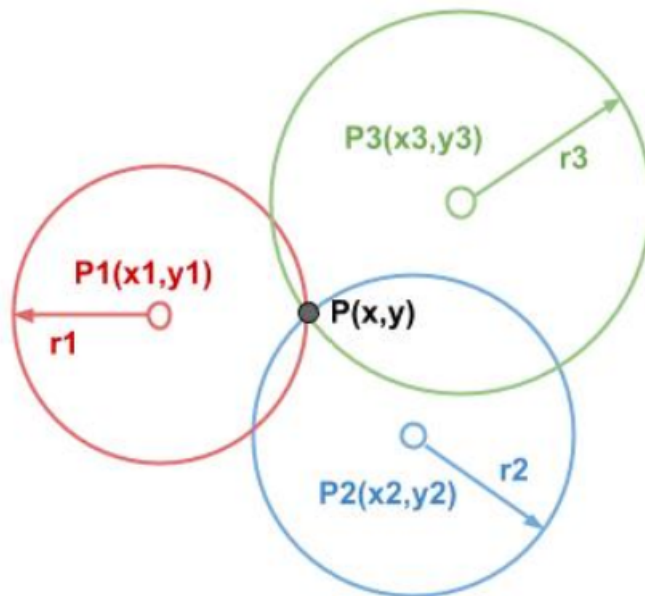
A constante de propagação pode ser determinada empiricamente. Se sabe $n=2$ para o vácuo; no ar, valores coerentes estão entre 2.7 e 4. A determinação da constante para este projeto pode ser observada no Apêndice B.

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, qualquer deficiência na temporização e sincronização, por menor que seja, pode comprometer a precisão de tal metodologia.

Para este projeto, foi implementada a primeira forma e verificada a precisão da mesma.

Além disso, foi requerido desenvolver um algoritmo para obtenção do mapeamento da posição dos macacos. Este tema já havia sido discutido em [6] e, para tanto, o algoritmo computacional desenvolvido se baseou na trilateração e em *cellbased*.

Figura 1: Algoritmo de trilateração



Fonte: autores

Dada a figura acima, o ponto P pode ser calculado conhecendo-se os pontos fixos $P1$, $P2$, $P3$, as distâncias entre eles e as distâncias entre os mesmos e P ($r1$, $r2$ e $r3$, respectivamente). Assim, é criado um sistema composto as três equações de circunferências, resultando no seguinte equacionamento.

Se $x_1 \neq x_2$:

$$\alpha = \frac{x_1 - x_3}{x_2 - x_1}$$

$$\beta = 2 \times [(y_3 - y_1) + \alpha(y_2 - y_1)]$$

Se $\beta \neq 0$:

$$y = \frac{(x_3^2 - x_1^2) + (y_3^2 - y_1^2) + (r_1^2 - r_3^2) + \alpha[(x_2^2 - x_1^2) + (y_2^2 - y_1^2) + (r_1^2 - r_2^2)]}{\beta}$$

$$x = \frac{2y(y_1 - y_2) + (x_2^2 - x_1^2) + (y_2^2 - y_1^2) + (r_1^2 - r_2^2)}{2(x_2 - x_1)}$$

Senão, se $x_2 \neq x_3$:

$$\alpha = \frac{x_1 - x_3}{x_3 - x_2}$$

$$\beta = 2 \times [(y_3 - y_1) + \alpha(y_2 - y_3)]$$

Se $\beta \neq 0$:

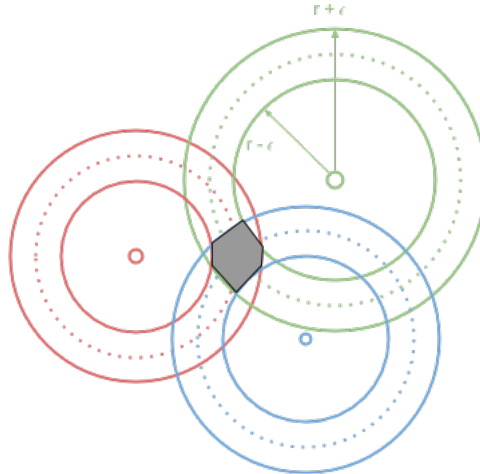
$$y = \frac{(x_3^2 - x_1^2) + (y_3^2 - y_1^2) + (r_1^2 - r_3^2) + \alpha[(x_3^2 - x_2^2) + (y_3^2 - y_2^2) + (r_2^2 - r_3^2)]}{\beta}$$

$$x = \frac{2y(y_2 - y_3) + (x_3^2 - x_2^2) + (y_3^2 - y_2^2) + (r_2^2 - r_3^2)}{2(x_3 - x_2)}$$

Se não couberem nenhum desses dois casos, sabemos que as circunferências não possuem ponto de intersecção.

Enfim, sabendo que o sistema deve considerar o erro ϵ de cada distância medida, foi elaborado um algoritmo semelhante ao *cellbased* [6] que leva em conta as circunferências para raio $r + \epsilon$, tal como na figura a seguir.

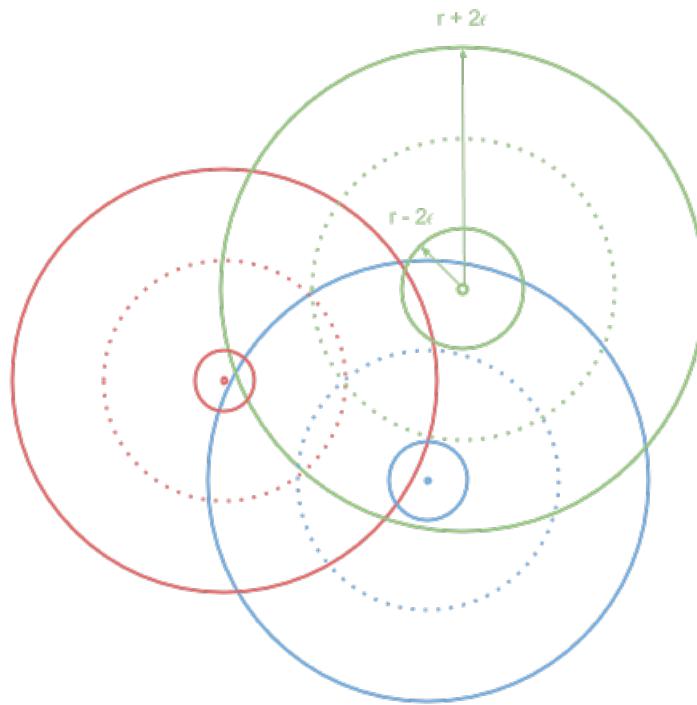
Figura 2: *Cellbased* - área de intersecção



Fonte: autores

O ponto sensível dessa linha de pensamento é o fato que, devido às possíveis variâncias no erro, em alguns casos pode ocorrer o ilustrado abaixo, em que a área alvo não se fecha como deveria. Para estes casos é necessário tratamento especial, ou tentando inferir valores mais adequados por proximidade entre os pontos de intersecção par-a-par das circunferências ou simplesmente tomando-os como dados inválidos demais e descartando-os.

Figura 3: *Cellbased* - área de intersecção fora do alcance



Fonte: autores

3 METODOLOGIA DO TRABALHO

Seguindo as orientações de tópicos aplicados a projetos de sistemas embarcados indicadas pelo professor orientador [7], inicialmente foi necessário levantar e descrever os requisitos funcionais e não funcionais do sistema - o que é esclarecido no capítulo seguinte.

A segunda etapa consistia na definição da arquitetura do projeto, para qual os possíveis componentes são associados estabelecendo uma composição que cubra os requisitos funcionais do projeto. A arquitetura é descrita no capítulo 6.

A seguir, aos componentes visíveis no plano físico, o que é feito no capítulo 5. Por fim, é implementada a arquitetura que foi projetada.

Foi adotada metodologia *top-down* visto que primeiro é definido o produto que se deseja obter para poder segmentar as tarefas a serem realizadas em microsserviços.

Ao mesmo tempo o projeto utilizava duas abordagens. Em alguns aspectos é utilizado o modelo em cascata, pois, por se tratar de um trabalho de formatura, é natural que algumas otimizações sejam reservadas para projetos futuros. Por esse ponto de vista, é como se cada projeto fosse uma curva na espiral.

Por outro lado, dada a abrangência tecnológica do projeto, em frentes como a interface será adotado o modelo espiral, pois neste caso modificações eventuais são menos custosas em tempo e orçamento.

4 ESPECIFICAÇÃO DE REQUISITOS DE SISTEMA

O funcionamento essencial do sistema, o que define seus requisitos funcionais, requer que a posição dos macacos seja possível de ser medida, armazenada e mostrada para o usuário.

Além desses, foram levantados os requisitos não funcionais, que trabalham aspectos necessários e complementares para o bom funcionamento do sistema, muitas vezes previstos pelo público solicitante do mesmo.

No SIMIOS, os principais requisitos não funcionais foram apontados por pesquisadores biólogos e veterinários com experiência em monitoramento de macacos. Dentre eles, está que o peso da mochila que será anexada ao animal não deveria ultrapassar 10g para não influenciar em seu comportamento nem sobrecarregá-lo, visto que o principal grupo de foco (saguís) tem peso médio de 400g. Para isso, era interessante que todos os componentes da mochila fossem o mais leves possível.

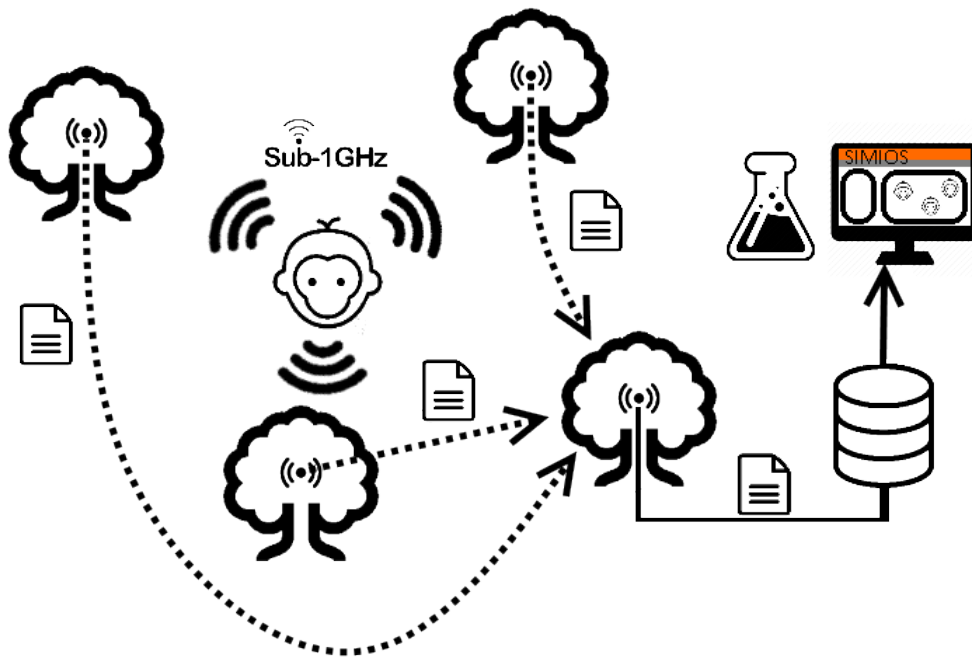
Outra situação apontada é o fato de que toda vez que a bateria do aparelho tiver de ser trocada, o veterinário deverá capturar o macaco e sedá-lo, o que é bastante prejudicial para a confiança que o animal constrói pelo ser humano. Dessa forma, era desejável que a eficiência energética do dispositivo embarcado seja alta para que a bateria tenha de ser trocada com a menor frequência possível.

Além da mochila do animal, os dados coletados deveriam ser confiáveis. Isso envolve garantir a validade das medidas enviadas e a minimização de seus erros. Assim, remedia-se casos nos quais há medidas falsas, por exemplo, quando o dispositivo é removido acidentalmente do animal, bem como nos quais haja interferências ruidosas no sinal capazes de alterar significativamente as medições. Também era relevante que o acesso à informação fosse possível somente para pessoas autorizadas, envolvendo conceitos como autenticação e codificação, para proteger os dados coletados quando sigilosos.

SIMIOS é um sistema que, estruturalmente, poderia ser contextualizado em pratica-

mente qualquer aplicação que se tenha algo a ser rastreado, seja um ser vivo ou não, para qual o GPS seja impraticável ou tenha precisão insuficiente. Portanto, de maneira geral, também era interessante que o sistema tivesse escalabilidade em todos os aspectos - que os dispositivos embarcados nos animais possuísssem sensores diversos e que, possivelmente, toda a aplicação suportasse que uma quantidade maior de variáveis e de usuários fosse inserida.

Figura 4: Resumo gráfico do sistema



Fonte: autores

5 TECNOLOGIAS UTILIZADAS

Considerando os aspectos discutidos no capítulo 2 sobre possíveis e impossíveis instrumentos para o contexto em questão, por fim foram selecionadas as tecnologias efetivamente utilizadas no projeto, as quais são descritas neste capítulo.

5.1 Dispositivos Embarcados

Partindo-se deste requisito, selecionou-se a plataforma de desenvolvimento *SensorTag* da *Texas Instruments* como componente embarcado que ficaria em cada macaco e nos pontos de acessos nas árvores. Trata-se de uma placa leve e comercialmente atraente, que contém 6 sensores¹, incluindo de temperatura, e Bluetooth de Baixo Consumo Energético (BLE - *Bluetooth Low Energy*) ou Sub-1GHz. Seu *datasheet* pode ser encontrado nas referências deste trabalho [8].

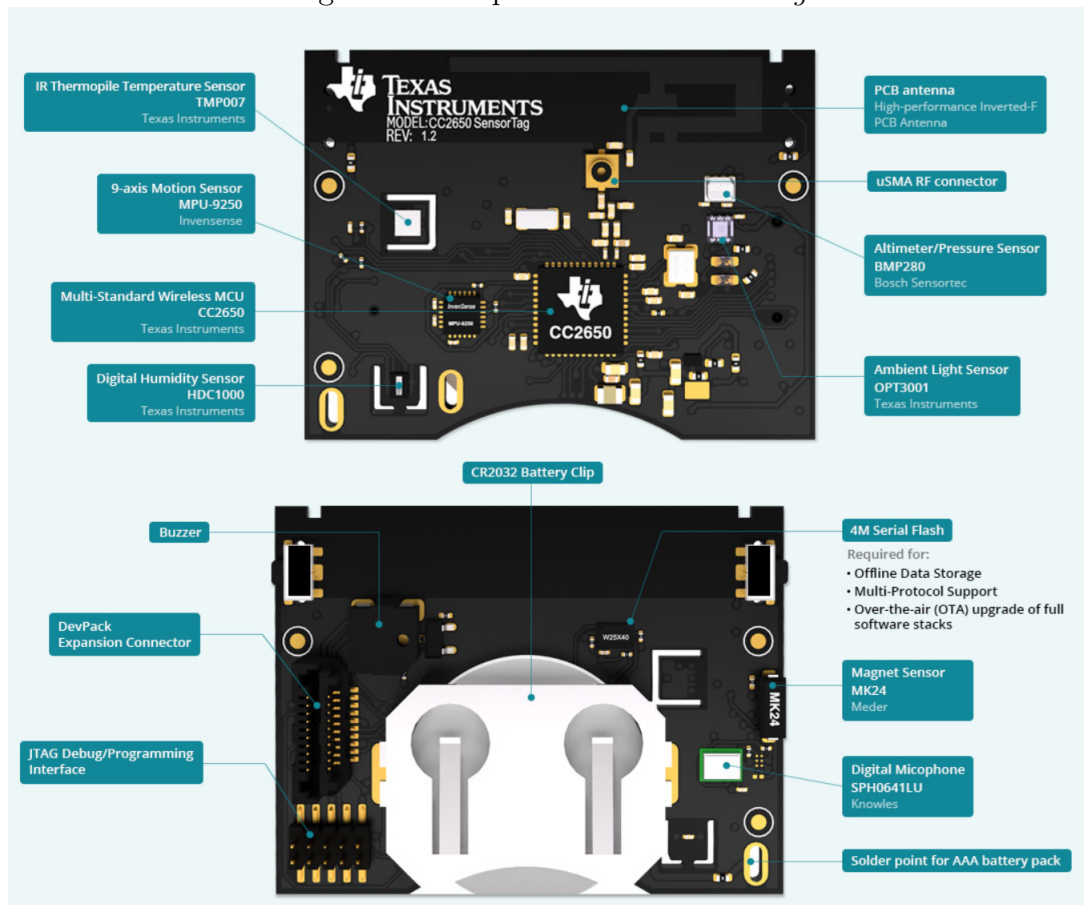
Foi selecionado um *Raspberry Pi 2* para receber os dados de uma placa *SensorTag* central via Transmissor/Receptor Assíncrono Universal (UART - *Universal Asynchronous Receiver/Transmitter*). Tal placa central recebe dados dos demais pontos de acesso, e estes dados são armazenados em um servidor pelo *Raspberry Pi*.

5.1.1 Sensortag

O código da placa dentre os produtos da TI é CC1350STK. Este é um dispositivo que é facilmente integrável com aplicações de tecnologia móvel (tendo inclusive um aplicativo aberto oficial da TI que pode ser usado em conjunto com as placas).

A placa contém um microcontrolador que tem funcionalidades de comunicação sem fio, um processador principal *ARM Cortex M3* de 32 *bits* com *clock* de 48MHz e uma

¹A placa contém sensores de temperatura, de umidade, de luminosidade, de pressão, de movimento e magnético.

Figura 5: Componentes do *SensorTag*

Fonte: *Texas Instruments*

variedade de periféricos, como temporizadores de propósito geral, conversor analógico-digital, pinos de propósito geral, entre outros.

5.2 Servidor

Foi escolhido o banco de dados relacional *MySQL* da *Oracle* por se tratar de um sistema gratuito e simples, embora completo.

O projeto SIMIOS prevê o rastreamento de animais em reservas, o que envolve, como visto anteriormente, no máximo cerca de 10 animais em grandes reservas. Dessa forma, sabemos que não envolve sobrecarga de acessos por segundo e mesmo isto poderia ser corrigido com *buffering*.

Um ponto negativo do *MySQL* é que sua escalabilidade pode ser prejudicada - cada servidor tem um tamanho limitado e cada conjunto de dados só pode ser alocado em um servidor (não suporta particionamento), o que pode ser prejudicial em casos que se deseja

guardar no banco grande quantidade de dados.

5.3 Software

Para desenvolvimento do programa computacional que é executado no servidor, foi escolhida a linguagem de programação *Java*, com suporte de *frameworks Spring* e *Java Persistence API* (JPA), facilitando principalmente os processos de queries do banco de dados, de autenticação e autorização e de mapeamento de interface *model-view-controller* (MVC).

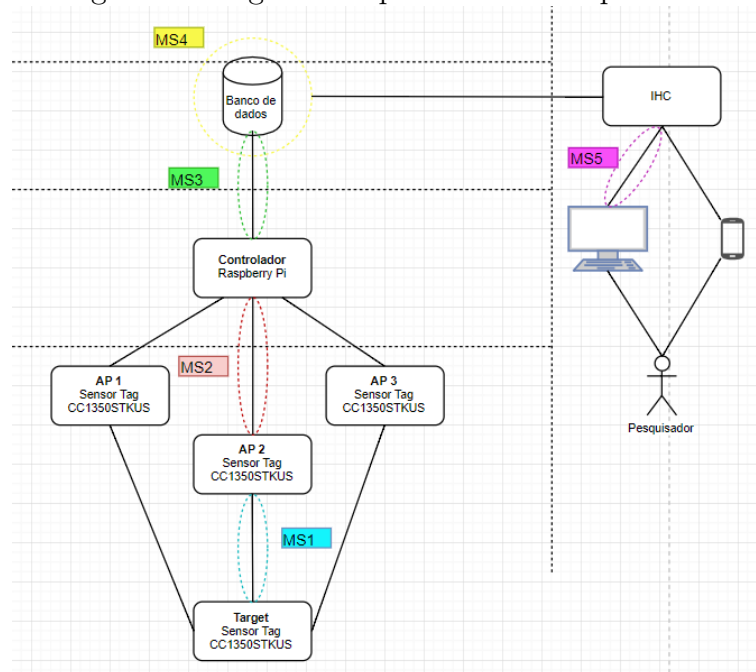
Por se tratar de uma aplicação de histórico de dados, pouco processamento está previsto e a computação pode ser realizada em tempo real pelo computador do usuário. Dessa forma, não se faz necessário o uso de linguagem de programação de execução eficiente (C++, por exemplo).

6 PROJETO E IMPLEMENTAÇÃO

Tendo em vista todos os pontos observados anteriormente, foi levantado o perfil da arquitetura do sistema, como pode ser visto na figura a seguir. O projeto foi segmentado em camadas de acordo com a tecnologia sendo implementada (linhas pretas pontilhadas).

Também foram designados microsserviços principais que distinguem o caminho crítico que desejamos obter. Cada um desses foi descrito neste capítulo.

Figura 6: Diagrama esquemático da arquitetura



Fonte: autores

Todo código elaborado pelos autores com relação a cada projeto é acessível no link da organização do repositório do grupo [9].

6.1 Módulo Do Target

Essa etapa engloba possibilitar a comunicação unidirecional de cada dispositivo nos animais (*target*). Essa comunicação foi feita através da emissão em *broadcast* de pacotes utilizando Sub-1GHz, que trabalha a frequência de 868MHz, com o protocolo proprietário da TI, chamado *EasyLink Proprietary RF*.

Além disso, era necessário que o *target* tivesse um ciclo de *sleep*, de forma a controlar a taxa de transmissão do sinal, reduzindo a energia consumida por cada dispositivo. Estudos foram feitos para se decidir qual a melhor estratégia de implementação.

6.1.1 Comunicação unidirecional

Para tal, o módulo padrão de transmissão (Tx) disponibilizado pela TI foi estudado e modificado para que o pacote enviado contivesse o Identificador (ID) de cada animal - que ficou codificado de maneira pré definida em cada *SensorTag*.

Esse módulo cria uma *task* para a execução da tarefa de emissão dos pacotes cujo *payload* e endereço de destino podem ser configurados. Como só era desejado o ID do macaco e a intensidade do sinal, o *payload* foi constituído somente por um único *byte* contendo a primeira informação. Tendo isso em vista, é compreensível que seria possível inserir no mesmo *payload* demais informações relativas aos animais através dos sensores em cada placa.

Regular a potência do sinal era interessante uma vez que tanto o alcance do sinal quanto a precisão observada no RSSI variam. Portanto, foi adotada uma intensidade arbitrária de 12 dB para a qual observamos que em cerca de 30 metros de distância o ponto de acesso ainda recebia resposta.

6.1.2 Temporização

Para controle do ciclo de envio e *sleep* do módulo *target*, foram pesquisadas três principais estratégias:

1. Utilização de um periférico do microcontrolador do *SensorTag* do tipo *timer*, para determinação do período de sleep através de seu contador;
2. Por meio de uma pausa na tarefa do sistema operacional que está executando a transmissão de pacotes;

3. Ou alterando-se uma constante da estrutura de pacotes.

A *Texas Instruments* permite que o controle dos periféricos dos módulos utilizados seja feito por meio do uso de *APIs* específicas de seus *drivers*. No caso do *timer*, é possível utilizar a referência da biblioteca `GPTimerCC26XX.h` [10]. Ela contém funções básicas de operação do *timer*, como `init()`, `start()`, `stop()` e `callback()`.

Para utilização do *timer*, era necessário também que se configurasse seus parâmetros. Alguns deles, mais essenciais, são:

- Modo (*One-shot*, Modulação por largura de pulso, periódico, dentre outros);
- Tamanho máximo do contador (pode ser de 16 ou 32 bits);
- Valor até o qual o *timer* deve contar;
- Função de retorno;

Todos esses parâmetros são referenciados no datasheet do microcontrolador [8] e na referência da biblioteca do *driver* [10]. No contexto do *SensorTag* e deste projeto, o *timer* pode ser configurado para funcionar de maneira periódica e a transmissão de mensagens ser incluída em sua função de *callback*.

O cálculo da periodicidade do *timer* deve ser feito levando-se em conta a sua frequência de atualização, lembrando que, em uma descrição simples, o funcionamento do *timer* consiste em contar de 0 até o valor especificado em seus parâmetros. O memorial de cálculo encontra-se no Apêndice D.

Boa parte dos exemplos de uso de periféricos providos pela TI incluem criação de tarefas. Conforme mencionado no item anterior, utilizou-se primariamente um dos exemplos fornecidos pela TI para operação do módulo de *target*. Uma solução mais simples do que configurar o *timer* (e possivelmente menos custosa) seria utilizar a função `Task_Sleep(nticks)` [11]. O que esta função faz em essência é bloquear a tarefa pelo tempo definido em `nticks`, o qual é medido em microssegundos e tem como referência o próprio *clock* do sistema (48MHz [8]).

Uma última estratégia seria utilizar um dos parâmetros da própria estrutura de mensagens de transmissão do protocolo utilizado [12]. Tal parâmetro é `EasyLink_ms_To_RadioTime` e é medido em microssegundos, como seu nome sugere [13]. Seria uma alternativa às duas últimas mencionadas, porém, há pouca informação sobre seu tamanho máximo e, esse motivo, há relatos de outros usuários da API sobre problemas em seu uso.

6.1.3 Eficiência Energética

Para efeito de preservação da bateria escolheu-se realizar a transmissão a cada 5 segundos de maneira a manter o aspecto de atualização em tempo real. Tal valor pode ser configurado facilmente alterando-se uma das variáveis contidas nas estratégias de temporização mencionadas anteriormente (loadVal para o *timer*, nTicks para Task_Sleep() e EasyLink_ms_To_RadioTime para a estrutura dos pacotes). Esta mudança deve ser feita caso seja julgada interessante uma maior economia de energia em troca de desempenho.

6.2 Módulo Do Ponto De Acesso

Cada ponto de acesso é responsável pela leitura e armazenamento dos dados correspondentes aos pacotes enviados pelos *targets*. Assim, para cada pacote recebido é possível identificar a intensidade do sinal, que é armazenada em um vetor de tamanho fixo junto com o ID do macaco.

Uma vez que o vetor estiver completo, o ponto de acesso cria e envia pacotes de maneira similar a como é feita pelos *targets*, mas com endereço de destino distinto, por exemplo 0xBB.

Para isso, foi desenvolvido um projeto composto por ambos os módulos padrão de leitura (Rx) e transmissão (Tx). O módulo de leitura foi configurado para que passem pelo filtro somente pacotes cujo endereço de destino seja igual ao dos enviados pelo *target*, por exemplo 0xAA.

6.3 Módulo Central

A mediação da comunicação entre o ponto de acesso (*SensorTag*) e o controlador (*Raspberry Pi*) foi feita através do nó denominado Central implementado por um *Sensor-Tag* conectado por UART ao controlador. Este componente tinha a função de receber os pacotes filtrados pelo endereço de destino configurado pelos pontos de acesso e repassar as informações por conexão serial para o controlador.

Para isso, analogamente ao realizado nos demais componentes, foi desenvolvido um projeto composto por ambos os módulos padrão de leitura (Rx) e transmissão serial UART disponibilizados pela TI. Essa composição foi feita criando uma *thread* para cada módulo utilizando *buffers* duplos, de forma que cada tarefa trabalhasse paralelamente em um

buffer individual.

O tamanho dos *buffers* foi dimensionado para abrigar 32 medidas, considerando a memória máxima da placa e, ao mesmo tempo, a não sobrecarregar a comunicação serial com o controlador, que depende da interrupção dessa comunicação para escrever no banco. O módulo UART foi configurado para atuar a taxa de transmissão de 115200 bits por segundo sem paridade.

6.3.1 Integração dos pontos de acesso e target

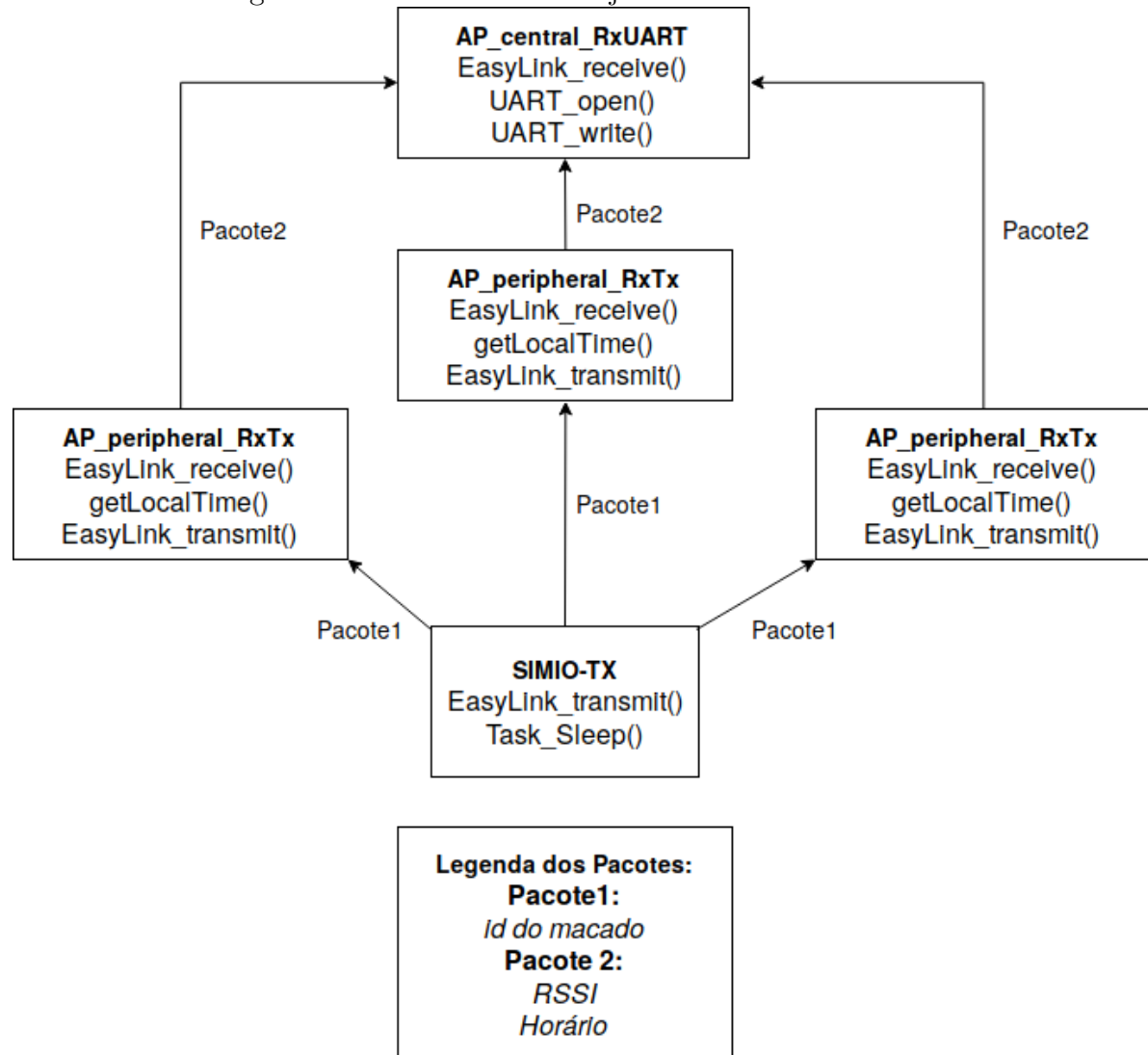
Definidos os módulos de *target*, ponto de acesso e ponto central, o seu funcionamento conjunto é ilustrado conforme o diagrama da Figura 7, conjuntamente com as principais funções de cada módulo.

O projeto Simio-Tx representa o comportamento do módulo *target* que era responsável por emitir pacotes com a identificação do macaco em que estaria instalado (pacote 1) e possui a função de `Task_Sleep()` para diminuir o consumo energético.

AP_Peripheral_RxTx era o projeto que implementava o funcionamento dos pontos de acesso. Ele atuava concomitantemente como receptor e transmissor: recebe o ID do macaco monitorado em diversos horários até que o *buffer* da mensagem a ser enviada ao ponto central estivesse cheio, então enviava as informações que recebeu conjuntamente com o horário calculado e o parâmetro de RSSI (usado no *Raspberry Pi* para fazer o cálculo da distância).

Já o projeto AP_central_RxUART recebia as informações de monitoramento dos três pontos de acesso, e assim as enviava por UART para o *Raspberry Pi*.

Figura 7: Funcionamento conjunto dos nós do sistema.



Fonte: autores

6.4 Módulo Do Controlador

Como módulo controlador escolheu-se uma placa *Raspberry Pi* conectada ao módulo central. Para evitar demais interferências do ambiente e com isso demais gargalos na comunicação, os dois módulos se comunicavam de forma serial através de UART. No módulo controlador isso se dá pela biblioteca "serial" em python.

Ao receber as informações, o controlador formatava os dados das distâncias e *timestamps* de cada medida tomada. Os valores de RSSI recebidos eram convertidos em distâncias em metros através do equacionamento obtido no item 2.4 deste documento e os *timestamps* eram ajustados para o tempo ao qual o controlador estava conectado. Além disso, os valores da mensagem eram checados para determinar se a mensagem estava completa e coerente, ou seja, se havia ocorrido perda de dados durante os envios anteriores,

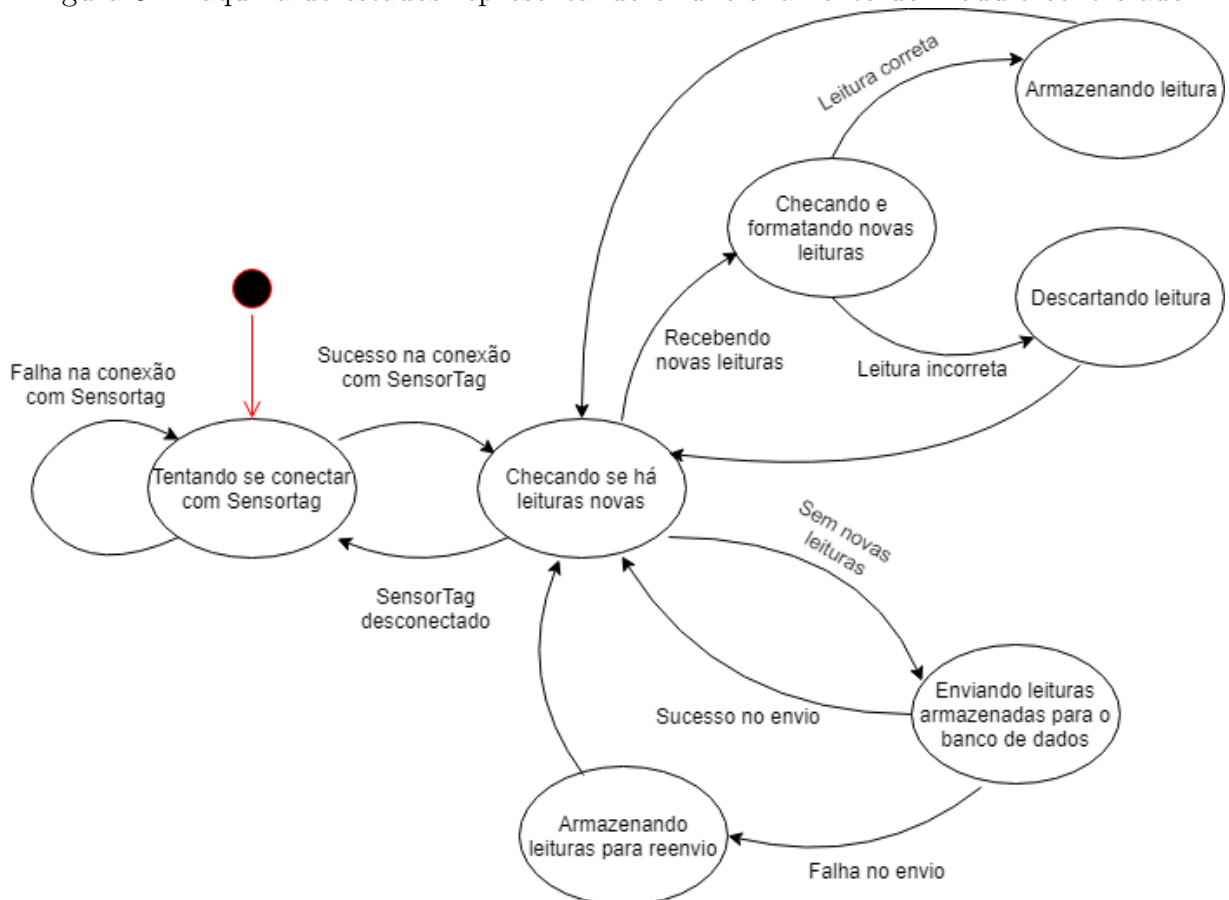
a mensagem era descartada.

Após receber e processar os dados o controlador os enviava para o banco de dados no servidor. Já que o controlador possui alta capacidade de armazenamento relativamente a escala de *buffering* sendo utilizada ele aguardava para enviar as informações para o banco somente quando não houvessem mensagens sendo recebidas na conexão serial.

A solução escolhida foi o uso da biblioteca *MySQLdb* em *Python*, com a qual os dados eram inseridos diretamente no banco de dados utilizando *SQL queries*. Como é boa prática, as mensagens eram analisadas antes que de serem enviadas para garantir que os dados se encaixavam no que foi definido no banco. Caso houvessem problemas na conexão com o servidor elas seriam armazenadas no controlador até que ele conseguisse se reconectar.

O comportamento previamente descrito é esquematizado pela máquina de estados a seguir:

Figura 8: Máquina de estados representando o funcionamento do módulo controlador



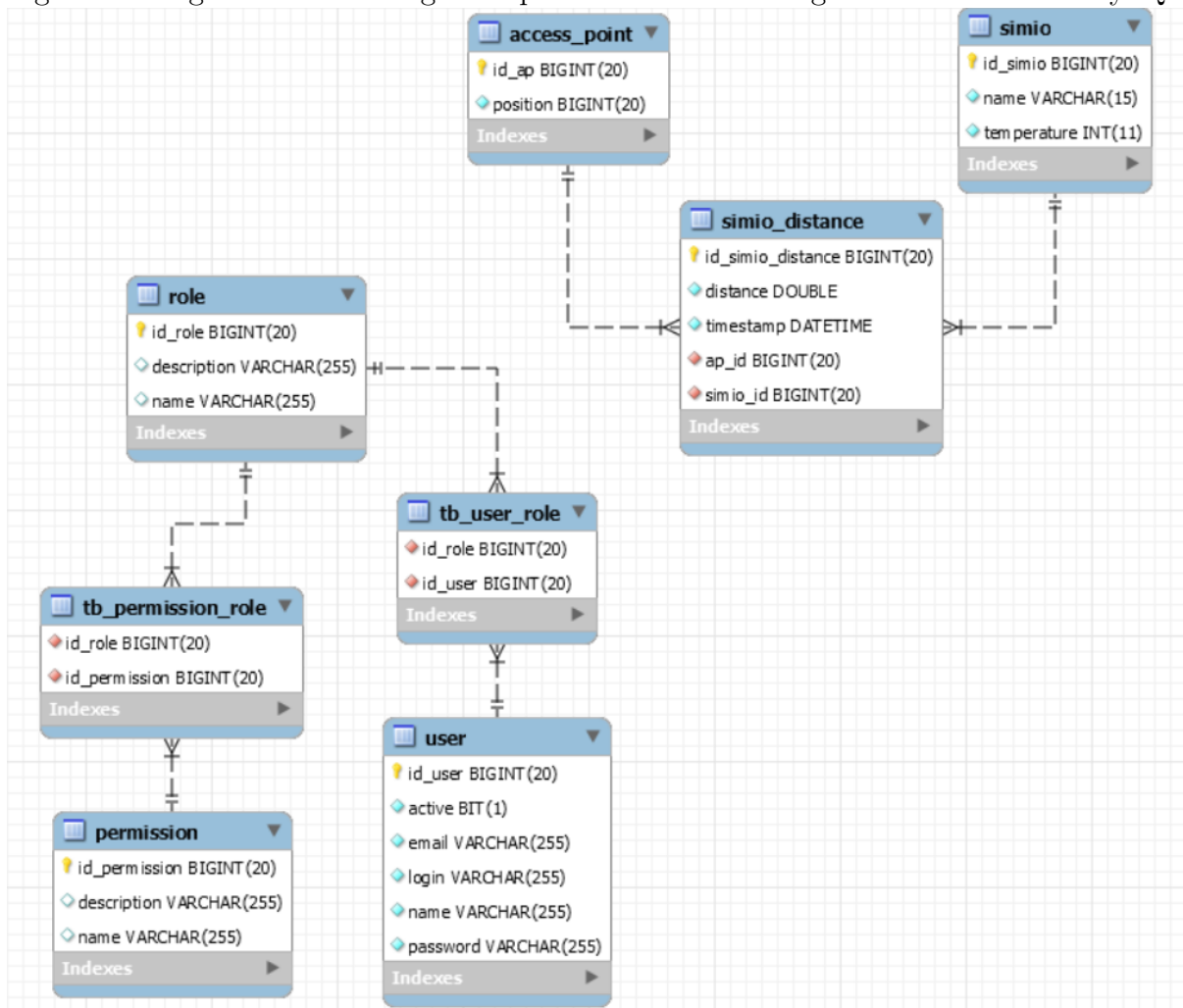
Fonte: autores

6.5 Banco De Dados

O modelo desenvolvido era relativamente simples e envolve somente os objetos físicos do contexto, de forma que fique claro que são mapeados: o *target*, o ponto de acesso e a distância entre eles.

Pelo lado da segurança do sistema, foi utilizado um modelo padrão do *Spring Security* que mapeia o usuário e suas permissões como pode ser visto no diagrama de classes a seguir.

Figura 9: Diagrama de classes gerado pela ferramenta de engenharia reversa do MySQL



Fonte: autores

A implementação do modelo foi feita em código com a declaração das entidades do sistema, que eram interpretadas pela JPA. A configuração do banco de dados utilizado (MySQL) permitia que a JPA construísse e atualizasse automaticamente as tabelas do banco quando necessário.

6.6 Aplicação *Web*

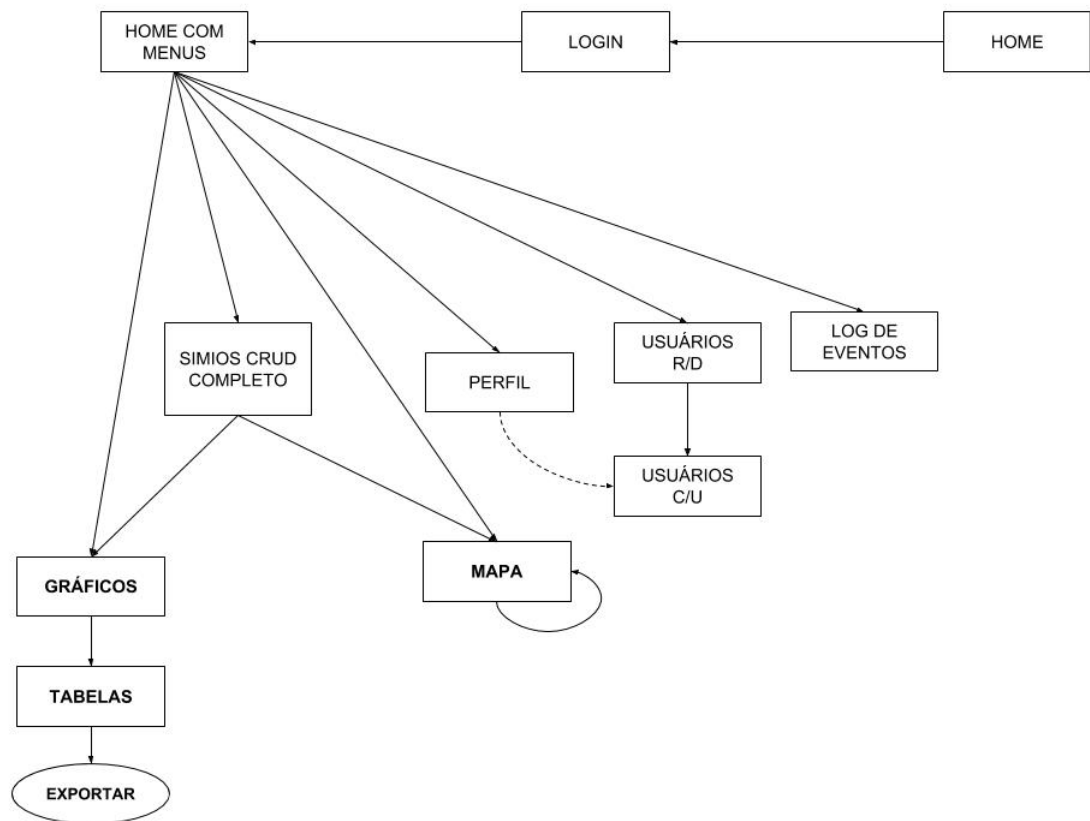
A interface com o usuário previa uma aplicação *web* que permitisse a visualização dos gráficos e tabelas com dados dos animais.

Para isso, foi utilizado o *framework Spring MVC* cuja estrutura consistia em considerar a necessidade de implementação de CRUDs para cada um dos objetos principais do sistema que o usuário deveria ser capaz de gerenciar: o *target*, o ponto de acesso e o usuário. Dessa forma, cada um destes objetos deveria possuir:

- views de cadastro, edição e listagem;
- um controlador, para mapear as requisições de Transferência de Estado Representacional (REST);
- um repositório;
- um serviço, para atuar no repositório.

A figura a seguir identifica o fluxo de cada uma das telas existentes no sistema. O protótipo das telas é exibido no Apêndice C.

Figura 10: Mapa do site



Fonte: autores

7 TESTES E AVALIAÇÃO

Foi determinada fundamentalmente a necessidade de avaliação do sistema sob duas frentes principais: consumo energético e precisão da posição obtida.

Para tanto, foi elaborado teste para a determinação da precisão na medida da distância entre o ponto de acesso e o *target*. Dada a constante de propagação determinada como 2,95 (ver Apêndice B), foram comparados os valores exibidos pelo ponto de acesso e os medidos por uma trena, os quais estão disponíveis na tabela a seguir.

Tabela 2: Distâncias medidas pelo ponto de acesso e pela trena

Distâncias pela trena (m)	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0
Distâncias pelo AP (m)	0,79	1,00	0,73	8,22	2,15	3,59	4,64	7,04
	0,86	1,08	0,73	2,76	1,82	2,56	4,64	5,15
	0,73	1,08	0,73	3,22	2,78	4,26	4,64	6,51
	0,86	1,00	0,86	2,55	2,56	3,03	3,91	10,40
	0,63	1,00	1,37	2,18	2,78	3,91	3,03	7,61
	0,63	1,00	1,87	2,18	2,35	8,43	2,56	13,14
	0,63	1,08	1,60	2,18	2,56	7,74	2,56	8,90
	0,63	0,68	1,50	2,02	3,30	5,05	5,99	3,77
	0,63	1,26	1,48	2,18	3,03	6,53	4,26	4,08
	0,63	1,00	1,37	2,55	2,78	5,05	14,07	2,98
	0,63	1,00	1,48	1,60	2,56	6,53	7,11	4,76
Distância média pelo AP (m)	0,69	1,02	1,24	2,88	2,61	5,15	5,22	6,76

Fonte: autores

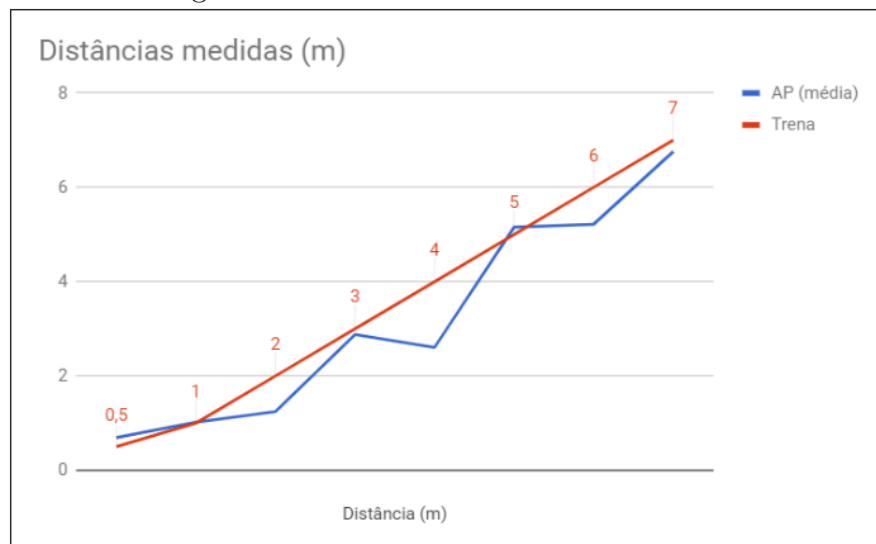
Tabela 3: Erro quadrático médio e máximo para cada n

Erro quadrático médio (m)	1,52
Erro quadrático máximo (m)	3,04

Fonte: autores

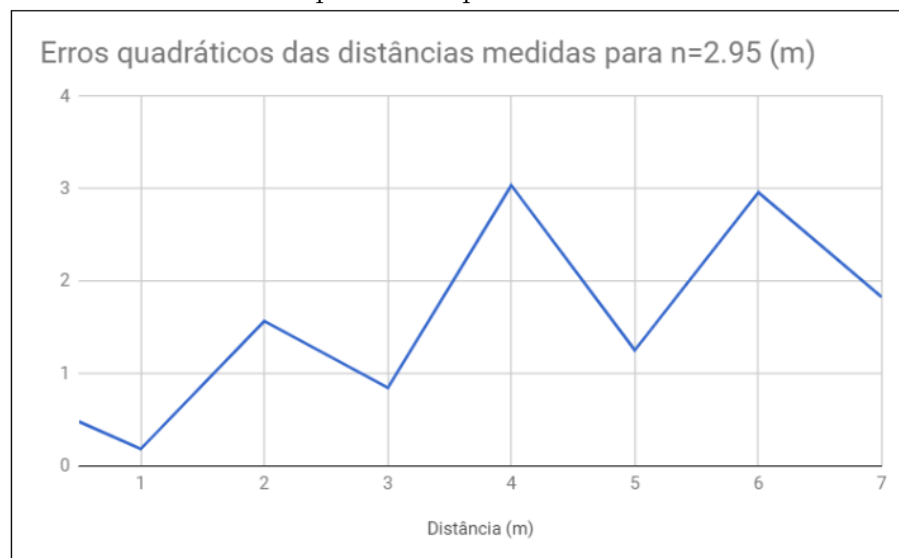
Dessa forma, foi possível determinar um erro quadrático de aproximadamente 1,5m, como pode ser visto na tabela 3, que era um valor aceitável considerando a escala da área local de implementação. Entretanto, ainda era um erro alto para ambientes de cativeiro, cuja área é menor.

Figura 11: Gráfico das distâncias medidas



Fonte: autores

Figura 12: Gráfico do erro quadrático para as distâncias medidas em $n=2.95$



Fonte: autores

No que se refere ao consumo energético, o único teste prático que foi pensado exigiria expor uma bateria nova à exaustão e calcular o tempo tomado. No entanto, como dimensionamos o sistema para que possa durar semanas, este teste era pouco praticável e fica dentro do escopo secundário do projeto.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

8.1 Conclusões do Projeto de Formatura

O projeto era composto por módulos bastante distintos e elaborados em diversos níveis de abstração: apresentando considerações acerca do *hardware* e *firmware* de placas a serem utilizadas até a elaboração do *software* de uma aplicação *web* de alto nível.

Contudo, todos os objetivos principais propostos que formam o cerne da funcionalidade: de obter informações acerca do animais de forma constante, de armazenar essas informações para partes interessadas e de apresentá-las de forma clara; foram atendidos pela presente implementação. O primeiro se correspondeu pela interação entre o módulo aplicado aos macacos e aquele aplicado às árvores que manteriam contínua vigília sobre os animais enviando informações sobre sua localização. O segundo se alcançou na construção de um banco de dados contendo todos os dados observados de onde o sistema fosse instalado, cujo conteúdo disponibilizar-se-ia a quaisquer pesquisadores interessados para análise dos dados. O último se concretiza na disponibilidade dos dados em forma de mapas através de uma aplicação *web*.

Em relação aos requisitos não funcionais levantados, destaca-se o cumprimento da exigência de generalização em relação ao objeto de observação do sistema; de fato, apesar de destinado à aplicação em símios de pequeno porte, com pouca ou nenhuma alteração o sistema pode ser facilmente adaptável para qualquer outro animal de comportamento similar ou a objetos inanimados que se queira investigar. Isto se deve à confirmação de que toda a base do sistema até o nível do banco de dados não exige configuração de qualquer parâmetro relacionado aos animais ou ao seu ambiente. Conclui-se então que o sistema seria genérico o bastante para diversas aplicações, mas ressalva-se a necessidade de adaptar as informações coletadas para o novo domínio do problema.

Por outro lado, alguns aspectos do trabalho ficaram aquém dos resultados esperados. Como exemplo pode-se expor o fato dos módulos a serem carregados pelos macacos não atenderem à especificação de peso determinada, constituindo mais do que 10g, impedindo

a observação de símios de menor porte. Isso não inviabiliza a monitoração pretendida, visto que a posição dos macacos ainda é assimilada e a monitoração da maioria dos animais não se torna irrealizável.

Outro exemplo pode ser feito da escolha de utilizar um nó central para condensar as informações dos módulos dos pontos de acesso no coletor que, em contrapartida, prejudicaria a escalabilidade do sistema já que demanda que todos os pontos de acesso estejam a distância de transmissão do nó central. É possível resolver este ponto adaptando o sistema para que seja usado um protocolo de Redes *Mesh*, viabilizando a expansão da rede.

Além disso, nessa iteração o sistema não usufrui do acoplamento de outros sensores embutidos no *SensorTag* como foi planejado, já que o foco residia na aquisição de informações sobre o posicionamento. Adaptações em todos os âmbitos do projeto devem ser feitas para possibilitar a captação e exibição de dados de outros sensores presentes na placa.

Dois pontos finais devem ser notados neste balanço. Primeiramente a dificuldade de instalação do sistema se mostrou uma questão complexa e imprevista em sua concepção. Tanto pela variação ambiental da constante necessária para calcular as distâncias a partir do RSSI de forma confiável, como pelas interferências no sinal e limites de distância aos quais a comunicação entre as placas estão sujeitas mostra-se que os requerimentos para o bom funcionamento do SIMIOS não são triviais. Isso apresenta dificuldade notável na implementação do sistema em reservas mais diversas ou próximas a ambientes urbanos, como é o caso do Instituto Butantan. Para tanto um estudo mais aprofundado da variação das constantes ao longo do espaço disponível e uma redundância maior na transmissão dos sinais seriam benéficos para o projeto.

Finalmente, não se deve ignorar os custos financeiros relacionados à possível implantação deste sistema em grande escala. É necessário considerar que para cada objeto de estudo é preciso adquirir uma placa *SensorTag*, assim como para cada ponto de acesso nas árvores, número que aumenta a cada incremento na área de observação¹. Além disso há custos marginais na ampliação do banco de dados e servidores, o que resulta em um gasto nada trivial na expansão do sistema. Não obstante, dadas as alternativas de tecnologias atualmente disponíveis, apresentadas no segundo capítulo deste documento, a implementação proposta ainda se revela a opção de menor custo orçamentário.

¹Um estudo sobre a estimativa financeira de cobertura da área da reserva do Instituto Butantan pode ser encontrada no Apêndice E.

8.2 Contribuições

Com o cumprimento das funcionalidades necessárias neste sistema, acredita-se que o mesmo há de impactar de forma positiva os trabalhos de pesquisa em reservas nas quais se venha a instalar. Foi com o benefício de profissionais acadêmicos e de saúde animal que se baseou a elaboração das linhas guia deste projeto.

Em virtude dos estudos sobre as tecnologias presentes e das informações obtidas diretamente de profissionais da área, é possível dizer que, em comparação com as opções disponíveis de monitoramento de animais no mercado, as funcionalidades do SIMIOS atendem mais veementemente as necessidades correntes de primatologistas. Portanto o sistema contribui com uma solução mais bem adaptada aos profissionais de saúde e de comportamentalismo animal dadas as necessidades apresentadas destes grupos.

Atualmente o potencial de pesquisa nos campos de estudo da monitoração de animais, tanto no que diz respeito a pesquisas biológicas, como veterinárias quanto na esfera da Saúde Única é pouco explorado. Logo também é de interesse dos autores, não só satisfazer os requisitos do presente projeto, mas também dar destaque para tal nicho. Espera-se então que este trabalho sirva como inspiração e/ou ponto de partida para outros que almejam objetivos próximos através de metodologias similares. Adiciona-se a isso a expectativa de contribuições futuras como alternativas ao próprio SIMIOS, seguindo ou não os mesmos paradigmas ou as mesmas metodologias.

Com isso em mente, pretende-se deixar, através deste trabalho, uma variedade de contribuições realizadas pelos autores para qualquer um que planeje realizar um projeto ou sistema semelhante ou deseje usufruir dos módulos, ferramentas ou técnicas aqui desenvolvidos. Dentre eles é possível destacar: a elaboração da arquitetura do projeto; a integração e adaptação dos projetos disponibilizados pela Texas Instruments para compor o *Firmware* da placa *SensorTag*; a composição de mensagens contendo as informações necessárias a serem transmitidas entre as placas *SensorTag*, assim como sua transmissão, recepção e interpretação no módulo controlador; a implementação do módulo controlador, usando o *Raspberry Pi* como *Gateway*; a organização do banco de dados de forma conveniente para a aplicação; o método pelo qual é calculada a posição de um elemento de estudo a partir da sua distância dos pontos de acesso (algoritmo de Trilateração); e a maneira como são organizadas e disponibilizadas as informações colhidas em uma interface *Web*.

8.3 Perspectivas De Continuidade

Dadas as expectativas não cumpridas do trabalho, as primeiras propostas de continuidade pretendem atendê-las. Primeiramente a escalabilidade do sistema pode ser melhorada com o uso de outras técnicas de comunicação, como redes *Mesh*, na transmissão de dados entre módulos periféricos e pontos de acesso, permitindo uma configuração que consiga cobrir uma área maior. No mesmo âmbito, os sensores da placa podem ser configurados para enviar seus dados coletados juntamente com as mensagens sobre distância, com suporte nos módulos de envio e armazenamento é possível coletar uma gama maior de informações, limitada apenas à variedade de sensores na placa e ao tamanho máximo das mensagens transmitidas. Isso permitiria, por exemplo, a obtenção de informações sobre a temperatura de animais na região, uma das principais métricas no mapeamento da disseminação da febre amarela.

Para outros projetos que pretendem aproveitar os resultados deste, facilmente é possível adaptar o sistema para demais ambientes de uso, onde, além de problemas peculiares de cada ambiente, deve-se apenas atentar à determinação da constante eletromagnética do meio em questão e a eventuais desafios na transmissão de dados, como interferências comuns em comunicações sem fio. Além disso, a adaptação é igualmente fácil para outros objetos de estudo a serem observados, notando-se apenas que a mudança do domínio do problema pode acarretar mudanças em seus requisitos, necessitando, por exemplo, de continentes mais apropriados para as placas SensorTags considerando outras espécies de animais.

São propostas adicionais de grande proveito para a melhora no bom funcionamento do sistema: o aumento do paralelismo e uso de threads tanto nos módulos de ponto de acesso, para garantir que mais leituras possam ser feitas em um mesmo local, quanto no módulo coletor, para evitar que este se torne um gargalo da aplicação; e a realização de mais transmissões nas comunicações ou a exploração de mais componentes no protocolo para garantir a integridade das informações transmitidas, como o emprego de mensagem de *callback*.

Outras melhorias viáveis tocam questões relacionadas à manipulação da quantidade massiva de dados medidos. Na entrevista, a prof^a. Dr^a. Cristiane Pizzutto aponta que deve lidar com os dados manualmente e que utilizam planilhas para obter estatísticas, portanto seria interessante pensar em injetar conceitos de *Big Data* que corroborem com o processamento dos dados, assim como princípios de Experiência de Usuário (*User Experience* - UX), para que a forma de apresentação dos dados se adeque ao domínio do

problema de maneira a facilitar o trabalho dos investigadores e acelerar a formatação dos dados. Seguindo tal intenção de aprimorar a interação do usuário com a interface disponibilizada, foi realizada prototipação de uma possível aplicação móvel com emprego de Realidade Aumentada, cujo estudo está disponível no Apêndice F.

Por fim, se o compromisso entre fatores for reavaliado é possível dar sequência ao projeto utilizando outra tecnologia na obtenção da distância, como o uso de placas mais baratas, mas com menor variedade de sensores ou protocolos de comunicação. Dessa forma seria possível trocar a variedade de informações coletadas pela redução no custo. Ou contrariamente, pode-se adquirir placas mais caras, porém com alcance superior ou faixa de transmissão menos suscetível a falhas. Trocando neste caso um aumento no custo financeiro do projeto por uma precisão e confiabilidade maior dos dados. De qualquer forma que se pense refatorar o sistema, partes dele, como o banco de dados ou a aplicação web nos casos exemplificados, ainda podem ser, e recomenda-se que sejam, reaproveitadas.

REFERÊNCIAS

- 1 HANDCOCK, R. N. et al. Monitoring animal behaviour and environmental interactions using wireless sensor networks, gps collars and satellite remote sensing. *Sensors*, may 2009. Acesso em: 27 abril. 2018. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3297144/#>.
- 2 ZINSSTAG, J. et al. From “one medicine” to “one health” and systemic approaches to health and well-being. *Preventive Veterinary Medicine*, v. 101, sep 2010. Acesso em: 20 de junho de 2018.
- 3 ADVANCED Telemetry Systems. Acessado 20 maio, 2018. Disponível em: <https://www.atstrack.com/customer-support/how-to-select-a-program-for-your-transmitter.html>.
- 4 DONG, Q.; DARGIE, W. Evaluation of the reliability of rssi for indoor localization. In: *International Conference On Wireless Communications In Unusual And Confined Areas*. Clermont Ferrand: [s.n.], 2012. Acesso em: 03 de junho de 2018.
- 5 LARSSON, J. *Distance Estimation and Positioning Based on Bluetooth Low Energy Technology*. Dissertação (Mestrado) — KTH Royal Institute of Technology in Stockholm, 2015. Acesso em: 24 maio. 2018.
- 6 AMARAL, L.; BISCARO, M. *Beacon Bluetooth para Localização em Ambientes Internos*. 2017. Dissertação para disciplina PCS 3432 Laboratório de Processadores I, Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais.
- 7 CUGNASCA, C. E. *Projeto de Sistemas Embarcados*. 2018. Apostila da disciplina PCS 3548 Sistemas Embarcados, Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais.
- 8 INSTRUMENTS, T. *CC1350 SimpleLink™ Ultra-Low-Power Dual-Band Wireless MCU*. [S.l.]: Texas Instruments, 2016. <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/cc1350.pdf>. Acessado em 31 maio, 2018.
- 9 ORGANIZACAO do grupo no github para repositório de todo código gerado no trabalho. Criado em 2018. Disponível em: <https://github.com/SIMIOS-TCC>.
- 10 INSTRUMENTS, T. *GPTimerCC26XX.h File Reference*. Acesso em Setembro de 2018. Disponível em: http://dev.ti.com/tirex/content/simplelink/_cc13x0/_sdk/_1/_30/_00/_06/docs/tidivers/doxygen/html/_g_p_timer_c_c26_x_x_8h.html.
- 11 INSTRUMENTS, T. *Task module references*. Acesso em: 01 de Dezembro de 2018. Disponível em: http://software-dl.ti.com/dsps/dsps_public_sw/sdo_sb/targetcontent/sysbios/6/_35/_03/_47/exports/bios/_6/_35/_03/_47/docs/cdoc/ti/sysbios/knl/Task.html.

12 INSTRUMENTS, T. *Thread no forum de suporte da Texas Instruments sobre API da EasyLink*. Acessado em: 22 de Novembro de 2018. Disponível em: [⟨https://e2e.ti.com/support/tools/ccs/f/81/t/749365⟩](https://e2e.ti.com/support/tools/ccs/f/81/t/749365).

13 INSTRUMENTS, T. *EasyLink API reference*. Acesso em: 1 de Dezembro de 2018. Disponível em: [⟨http://dev.ti.com/tirex/content/simplelink/_cc13x2_sdk_2_20_00_71/docs/proprietary-rf/proprietary-rf-users-guide/easylink/easylink-api-reference.html⟩](http://dev.ti.com/tirex/content/simplelink/_cc13x2_sdk_2_20_00_71/docs/proprietary-rf/proprietary-rf-users-guide/easylink/easylink-api-reference.html).

APÊNDICE A – ENTREVISTA COM A PROF^a DR^a CRISTIANE SCHILBACH PIZZUTTO

Para agregar ao conhecimento interdisciplinar necessário para a projeção deste trabalho, foi realizada entrevista com a professora Cristiane Pizzutto, da Faculdade de Medicina Veterinária da USP, cuja redação foi documentada a seguir com o consentimento da doutora.

09 maio 2018 - São Paulo, SP

P: Quantos anos você tem?

R: Quarenta e cinco.

P: Qual a sua área de atuação?

R: Eu trabalho com a parte de animais silvestres em cativeiro. Mais especificamente, eu trabalho com enriquecimento orientado: avalio o estresse desses animais, mas também todo um monitoramento comportamental e endócrino deles em função dos ambientes que eles vivem e também o recurso de animais silvestres, muito voltado para a conservação. Hoje o cativeiro tem um papel importante na conservação desses animais, por isso muitas espécies a gente tem que estar preocupado em reproduzir para depois tentar reintroduzir no meio ambiente.

P: Quanto aos animais, essa monitoração é feita em laboratórios?

R: No laboratório a gente só faz a parte de dosagens hormonais dos animais.

P: Como se chama o lugar dos animais?

R: Cativeiro, zoológicos, aquários. Nesses espaços, a gente fala que é o recinto desses animais. O cativeiro nada mais é do que a privação da liberdade desses animais, não podem fugir, o que não está em vida livre está cativo. Eu trabalho com estes animais.

P: Quantos animais você acha que acaba monitorando? Tem o controle de animais que controla ao longo do tempo ou você vai ao local e tem alguns animais e você conhece eles na hora?

R: Então, eu não trabalho com animais de vida livre, é diferente de uma pesquisa de quem trabalha em campo e quem trabalha com animais de cativeiro. No meu caso, eu conheço os animais e todos estão envolvidos no projeto que eu trabalho. Meu acompanhamento é quase individual. Eu tenho como saber o que acontece com ele do ponto de vista comportamental e hormonal.

P: Quantos animais são monitorados em um projeto?

R: Depende. Quando se trabalha com animal silvestre, a gente trabalha com um N reduzido, mas geralmente é aquela quantidade daquele cativeiro. Por exemplo, com aves geralmente a gente trabalha com mais animais: num projeto com araras temos mais do que 25 araras, mas quando trabalhamos com espécies mais raras, como a onça pintada, temos só uma ou duas em cativeiro. Quase nunca passa de trinta, nosso número mais comum é 1, o que dificulta fazer estatísticas e com uns 7 já estamos dando pulos de alegria.

[Estamos pensando em 10 saguis. Maravilhoso.]

P: Quanto tempo você dedica às tarefas de ir até os animais? Quanto tempo demora isso?

R: Depende. No meu trabalho, quando a gente mexe com a parte comportamental. Em qualquer trabalho com comportamento, exige ao menos vinte a trinta horas de observação, que eu tenho que dividir ao longo de um período para obter uma estatística sensata. Além disso, tenho que determinar qual período do dia eu posso observar esses animais, por que têm momentos do dia que eles estão mais ativos e momentos que eles estão menos. Porque eu quero a maior quantidade de informações comportamentais pra mim dos períodos mais ativos. Isso também é diluído ao longo da metodologia dos trabalhos. Como eu trabalho com mudanças ambientais, eu faço sempre o antes e o depois: Eu faço de trinta a quarenta horas antes e de trinta a quarenta horas depois. Por isso eu tenho que dar uma boa lapidada neles que eles vão ter que ter paciência e tempo, porque demanda concentração nesses trabalhos. Quando eu faço coleta de material para análise hormonal é coisa rápida, às vezes trabalho com fezes que nem coloco a mão no animal; é um método novo que é pouco invasivo. Mas se for trabalhar com sangue tem que dar anestesia.

P: Essas trinta a quarenta horas são de observação direta?

R: Direta, tem que estar na frente do animal e fazer registros. A gente faz o que se chama de histogramas, que são formas de análise do comportamento. Tem vários métodos: posso observar o animal de forma instantânea, de tempos em tempos eu faço o registro; ou posso fazer um registro contínuo onde eu observo o dia inteiro sem pausa. Tem várias formas. Eu acho que o sistema de vocês o mais interessante é o envio de informações instantâneas.

P: Essa é minha outra pergunta, você acha que as informações que você acaba indo a campo monitorar dos animais, se você acha que essas informações podem ser captadas e enviadas para laboratório? Se isso ajuda?

R: Não sei se vocês conseguem esse tipo de informações, porque não sei se sua placa consegue mandar a informação de que o animal tá comendo, o que eu posso ver quando tô observando o animal. Isso me interessa porque cativeiros geralmente tem o histórico de ser muito ruins, eles não atendem às necessidades dos animais. Por exemplos alguns primatas comem no chão, outros vivem em extratos de 10 metros, outros de 15 metros. Com as observações em cativeiro, eu consigo fazer essa avaliação, olha eu vejo um animal que se alimenta na faixa de 2-3 metros, vocês podem não conseguir fazer essas observações e essas são informações valiosas pra mim. Não sei se vocês vão conseguir ter acesso a essas informações e enviá-las pro laboratório.

P: Para esse tipo de coisa, você acha válido ter câmeras?

R: Sim.

P: Vocês têm câmeras em alguns cativeiros já?

R: Instaladas, sim, mas elas são fixas e eles filmam os animais. Mas vocês com esse sistema, o ideal seria você ter uma câmera para enxergar o que o animal tá fazendo.

P: Quais são procedimentos padrões, tem alguma rotina fixa para esse tipo de pesquisa ou depende do animal ou do cativeiro?

R: Depende de várias coisas: da instituição, que tem que liberar o acesso pra gente poder observar os animais; e como o projeto começa, a gente tem que seguir a metodologia. Vamos supor que eu tenha 6 meses pra fazer a linha de base que é fazer as observações primárias para descobrir qual momento do dia o animal tá mais ativo e a gente divide o número de horas durante 6 meses, cada dia que você for lá você vai observar 1 hora nesse período de maior atividade porque nesses 6 meses tem que fazer as quarenta horas de registro.

P: A avaliação inicial do período de atividade é feita por observação direta também?

R: Sim, mas é diferente de como a gente observa. Por exemplo, se eu tenho 5 animais num ambiente, a cada 5 minutos durante um dia inteiro, por 3 dias, ela vai observar e falar que eu tenho 2 animais ativos às 7:00 e 3 inativos, aí ela vai fazendo os registros de 15 em 15 min para fazer um gráfico de atividade e inatividade, e a gente consegue ver qual momento do dia a gente tem mais e menos animais ativos. Ativo é que ele tá fazendo qualquer coisa, inativo é que ele tá deitado sem fazer absolutamente nada, porque, primatas em especial, são animais que têm variabilidade comportamental, eles fazem absolutamente tudo ao mesmo tempo, quando a gente vai fazer registro a gente fica louca de tanta informações que eles passam pra nós.

P: Esse dados... tem uma formatação dos dados, vocês usam algum tipo de programa?

R: A gente já tentou usar um que o nome eu não lembro... mas parece um aparelho que registra água e luz. Mas eu não consegui me adaptar com ele, porque ele me fala assim: agora tá na hora de registrar, mas às vezes o animal tá representando um comportamento que não tá cadastrado no sistema e o sistema não aceita. Prefiro fazer tudo no papel e os alunos no final do dia contabilizam os comportamentos e jogam em uma planilha do excel, porque esse aparelho tem que ser pré programado para todos os comportamentos que o animal pode ter e nem sempre o animal executa o comportamento.

Seria melhor alguma coisa mais aberta ou personalizada. Seria fantástico. A gente trabalha com sigla, porque tem que ser muito rápido, tipo, comendo depois a gente sabe que é CO.

P: Como é feito para localizar o animal dentro de cativeiro? Como é feito para identificar o animal?

R: Muitos a gente consegue saber quem é quem, principalmente por características externas, às vezes tem um defeito na orelha ou uma pelagem diferente e primata tem uma feição muito diferente entre eles, é fácil.

Mas por exemplo, em um trabalho que estou orientando no aquário de São Paulo com cangurus, e aí é uma coisa difícil de identificar e a gente vai pro coletivo e não pro indivíduo. A gente registra pelo grupo e fazemos um método chamado de scan. Os registros podem ser contínuos ou instantâneos, por intervalo de tempo, mas nesses casos eu preciso fazer um scan do grupo e instantâneo, já que contínuo é impossível, fazendo um registro do que cada animal está fazendo sem identificar quem é quem.

P: No contínuo você faz um log a todo momento de todas as atividades independente do tempo?

R: Eu uso o contínuo quando eu quero fazer um registro detalhado de como o animal come, aí eu olho o animal: pegou a comida, levou até a boca, devolveu, engoliu, o registro de como ele come. No meu caso é mais interessante fazer o instantâneo, porque eu foco no tipo de comportamento e acabo tendo milhares de registros no final de um dia, imagina no final de um projeto. Eu cheguei a ter 170.000 em uma planilha de excel com um gorila que eu trabalhei durante 8 anos e aí eu consigo ter frequência de ocorrências. Eu trabalho com quantidade de comportamento, eu transformo um em milhares de dados (informações).

Fica coisa pra caramba, aí eu dou uma driblada na estatística, por que 1 não é estatística, mas com 170.000 já dá pra fazer estatística. A gente faz o que a gente pode com animais tão ameaçados. Não tem, não adianta querer ter. Isso é difícil de convencer a comunidade científica, nem todo mundo é da área e as pessoas não entendem a importância de trabalhar com um indivíduo. Não adianta querer ter pelo menos 2, não tem.

P: Voltando, sobre o programa que você falou que trabalhava com anotação no papel, tem algum outro instrumento que você usa?

R: Uso muito uma câmera fotográfica para filmar porque o comportamento é dinâmico. Nem sempre as pessoas entendem quando a gente descreve e fazer registro é muito importante. E às vezes binóculo, só para enxergar melhor os comportamentos. Para registro: foto filmagem e papel. Basicamente isso.

P: Os animais se comportam muito diferente quando você observa eles?

R: Sim, muitos se estressam com a presença de humanos, por isso a gente faz uma etapa de socialização, então a gente fica um dia por perto pra ele ver a gente e se acostumar. Quando ele se acostuma com a gente lá e faz as observações. O que eles têm é muito problema de comportamento pro cativeiro que eles têm, aí em cativeiro é muito ruim e não atende as atividades deles do dia a dia e eles têm comportamentos anormais, estereotipados. Aí tem um monte de coisa, é com isso que eu trabalho. Aí eu entro com a técnica de enriquecimento ambiental que é pra restaurar os comportamentos normais que eles tem e melhorar a qualidade de vida deles e quando isso acontece, a gente tem sucesso na reprodução. Esse é o segredo de manter zoológico hoje, não é pra manter só por manter, a gente tem que dar qualidade de vida pra eles pra que eles justifiquem o animal estar preso.

P: Seu maior interesse é aproximar o comportamento que eles têm em cativeiro pro que eles têm fora?

R: Isso, quero resgatar comportamentos que eles perdem. Eles perdem certos comportamentos em cativeiro: eles tem tanto estresse que acabam tendo mais comportamento anormais do que naturais e típicos da espécie e o objetivo é resgatar esses comportamentos naturais.

P: Eles não ficam todos em reservas?

R: Não temos reservas para todos. Eu vou falar pra vocês, é triste isso, mas temos ativistas que falam que temos que abrir portas do zoológico e soltar. Eles vão morrer se a gente soltar. Não tem cadeia alimentar que suporte esses animais: os ambientes tão destruídos. Se a gente fizer uma soltura em massa, a gente não vai ter suporte alimentar para todos. A gente vai matá-los com certeza. Não tem o que fazer.

A questão é essa: tem que considerar a situação que o animal tá vivendo e que o ambiente natural tá vivendo. Há 10 anos, eu não defendia tanto cativeiro quanto eu defendo hoje. Agora eu preciso defender a existência de cativeiro, porque nós vamos perder os últimos membros das espécies. Trabalhar pela preservação do que nós temos em prol da conservação da natureza.

P: Esse processo de socialização com os animais em cativeiro, como ele é feito? Leva muito tempo para eles se acostumarem?

R: Eu comecei com um trabalho com um gorila que tinha no zoológico de São Paulo, que era solitário por muitos anos. Quando eu voltei desse estágio nos EUA, que eu vi que eles faziam essa questão de enriquecimento ambiental e tudo, que aqui no Brasil não tinha, e foi inédito. Eu comecei observando ele a distância. Só observar, até uma hora que eu percebi que o animal me observava, não mais eu observava ele, aí eu peguei e sentei na frente da grade dele e fiquei fazendo uma aproximação porque eu queria condicioná-lo. Esse processo demorou 6 meses. Porque era um gorila, um exemplar raro; que você não pode olhar no olhos se não chama ele para um desafio, então toda vez que eu entrava na frente dele eu tinha que ficar submissa até que eu treinei ele para que eu pudesse fazer procedimentos veterinários. Aí eu fazia supressão e eu colocava o estetoscópio nele, ele abria a boca pra mim e eu inspecionava os dentes dele. Tudo isso ele faz de forma voluntária. Aí você começa a fazer um trabalho que ele quer fazer com você porque o gorila é um animal social e, como ele tá sozinho, interagir com você pra ele é muito bom. Então começa a interagir com animal e começo a tirar proveito dessa situação: não preciso anestesiá-lo pra fazer um procedimento rápido, eu peço para ele abrir a boca e ele abre, sabe. Acaba sendo uma facilidade de manejo.

Para observação não. Você começa a observar o animal, fica ali algum tempo, habi-

tuando ele com a sua presença. Em uns 20 dias você faz a habituação.

P: Você vira um hábito dele então?

R: Sim, passa a ser normal pra ele.

P: Você já teve experiência com tratamento de reserva?

R: Não, reserva não.

P: Por que?

R: Sempre trabalhei com cativeiro. Sempre me preocupei com melhorar a condição dos animais em cativeiro, mudar demais a situação deles. Minha pesquisa sempre foi pra isso.

Porque acho importante. Eu trouxe isso pra veterinária, não temos o hábito de trabalhar com isso, tem biólogos que trabalham com isso, mas não veterinários. Essa foi outra barreira que eu encontrei porque veterinário não trabalha com acompanhamento de comportamento, que é mais coisa de biólogo do que de veterinário, ou seja nem posso mais falar isso, porque eu to brigando muito para que seja uma questão da veterinária. Porque a gente tem que estudar o comportamento do animal pra gente poder tratar, então foi uma coisa nova na veterinária. Meu desejo sempre foi cativeiro pra ajudar.

Tudo começou com esse gorila porque me incomodava a situação dele desde pequena, eu ia ao zoológico e vendo a situação dele eu decidi ser veterinária. Com 7 ou 8 anos: “Pai, quero cuidar desse gorila. Não gosto da situação que ele está”. Quando acabei a minha graduação, montei um projeto pra ele e fiquei com ele por 11 anos. Ele me botou a ideia de trabalhar com bem estar em cativeiro, então, não monitoro animais em vida livre.

P: Tem alguma coisa no seu trabalho que você tenha alguma dificuldade, ou seja, que a gente poderia fazer pra te ajudar com a nossa área? Por exemplo, como você usava o excel de ferramenta, tem alguma outra ferramenta que te ajude/ajudaria?

R: Se houvesse um sistema aberto pra mim, pra fazer registros, isso seria fantástico. O que seria maravilhoso, se tivesse uma placa que coletasse amostras pra mim de tempos em tempos, tipo uma agulha de insulina que coletasse amostras de sangue de animais em vida livre, ou que coletasse tecidos subcutâneos. Seria muito bom. Mas se a placa de você já fosse capaz de medir frequência cardíaca e temperatura corporal isso já seria muito bom, ou até pressão do animal. E para mim me interessa saber a proximidade também.

Vou amarrar isso tudo com a importância da Saúde Única: hoje, a gente trabalha com

a saúde do homem, do animal e do ambiente. Então quando vocês colocam um dispositivo para monitorar a febre amarela, vocês tão monitorando a saúde do ambiente e do homem. Aí vocês podem trabalhar no TCC de vocês a questão de Saúde Única e a importância do projeto de vocês com esse conceito. Porque hoje em dia, a gente tá preocupado com a intersecção dessas saúdes. Não dá mais pra desconectar. O que a gente tem com a febre amarela: Desastre de Mariana que acabou com a população de anfíbios, que fez uma proliferação de mosquitos e houve um desequilíbrio total com a doença, então um aspecto ambiental afetou a saúde do homem e do animal, o homem acaba sendo vítima.

Faria uso de uma ferramenta dessas em benefício dos animais e da profissão. O que acontece hoje é que a gente não consegue salvar os animais a tempo. Hoje em dia, a gente não consegue ter condições de ter tantas informações pra conseguir salvar os animais. A situação é difícil e quem trabalha chega a pôr do bolso os recursos.

P: Sobre a exibição das informações, como você faz pra fazer gráficos sobre as informações coletadas? Como se apresenta os dados?

R: Bom, fazendo uma análise estatística, mas dependendo do trabalho que se está fazendo, precisa de um teste específico. Por exemplo, a onça pintada, que está no gargalo da ameaça, e tem poucos animais em vida livre, ela vive sozinha: só encontra o parceiro no momento da reprodução. Em cativeiro a gente tem um monte, mas todos são velhos, castrados, que não se reproduzem, então meus alunos estão fazendo trabalho de microbiologia com a onça e fazer transferência de embrião, mas eu precisava entender comportamento de cópula para ter informação básica. E a gente achou um criadouro no pantanal que avaliou o comportamento desse casal fazendo 210 vídeos de registro de cópula. E como faz as estatísticas? Por relato, mas os trabalhos científicos querem estatística. Então a gente fez um Fisher Test e com ele deu certo. Mas entende? A gente não tem como fazer estatística, só o relato. Mas a comunidade científica exige e a gente deixa de publicar uma informação importante, que vai ajudar outros projetos, porque se tem uma régua muito alta de exigência e a gente não consegue publicar.

P: Tem algum jeito de ajudar vocês a obter as estatísticas, para facilitar isso?

R: Então, depende muito do seu projeto. Podem ter diversas esferas de análise.

P: Sobre o colar de rádio, ele pega os sinais vitais?

R: Pega: batimento cardíaco, por exemplo.

P: Mas ele já pega outras informações?

R: Os de felinos captam frequência cardíaca e temperatura, mas outros que são mais

baratos são só pra passar informação de onde o animal está. Outros pegam temperatura também.

APÊNDICE B – DETERMINAÇÃO DA CONSTANTE DE PROPAGAÇÃO

A constante de propagação do ambiente determinada pela TI deve ser definida empiricamente. Portanto, foram tomados dez valores RSSI para distâncias conhecidas, medidas com uma trena, para que pudessem ser verificados os pontos críticos em que pudéssemos nos manter dentro do erro previsto. Além disso, foi medido RSSI consistente de -60 dB para 1 metro de distância.

Tabela 4: Intensidades observadas para cada distância medida com trena

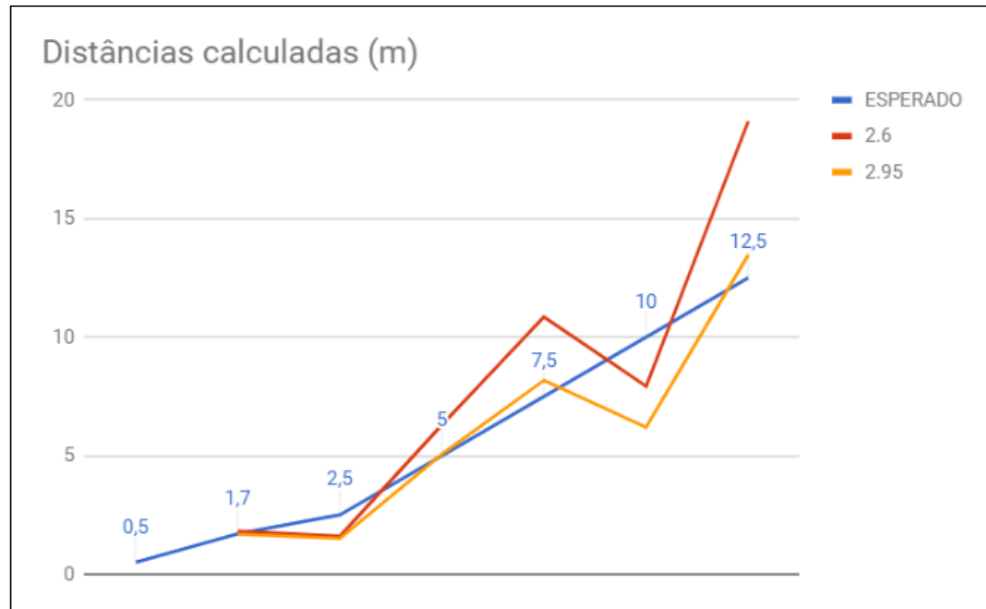
Distância (m)	0,5	1,7	2,5	5	7,5	10	12,5
RSSI (dB)	-56	-69	-72	-86	-85	-81	-84
	-57	-63	-69	-79	-90	-81	-89
	-62	-63	-62	-77	-86	-82	-96
	-56	-64	-62	-79	-85	-82	-96
	-55	-64	-71	-81	-84	-81	-90
	-58	-65	-70	-82	-84	-82	-93
	-61	-69	-64	-82	-85	-84	-90
	-62	-69	-63	-81	-90	-84	-95
	-63	-69	-64	-81	-91	-85	-95
	-63	-69	-63	-80	-90	-84	-94
	-63	-69	-64	-80	-87	-85	-98
	-63	-69	-63	-81	-87	-87	-96
	-63	-65	-62	-81	-86	-86	-97
RSSI médio (dB)	-60,15	-66,69	-65,30	-80,77	-86,92	-83,38	-93,30
n	-0,05	2,90	1,33	2,97	3,08	2,34	3,04

Fonte: autores

Assim, tomando o RSSI médio para cada distância, são listados os coeficientes de propagação ideais de cada medida. Tomando a moda de aproximadamente 2,95 e a média

de 2,6, foram calculadas as distâncias que seriam medidas para ambos os coeficientes e, então, calculado o erro quadrático em cada ponto.

Figura 13: Gráfico das distâncias calculadas para cada n



Fonte: autores

Tabela 5: Erro quadrático médio e máximo para cada n

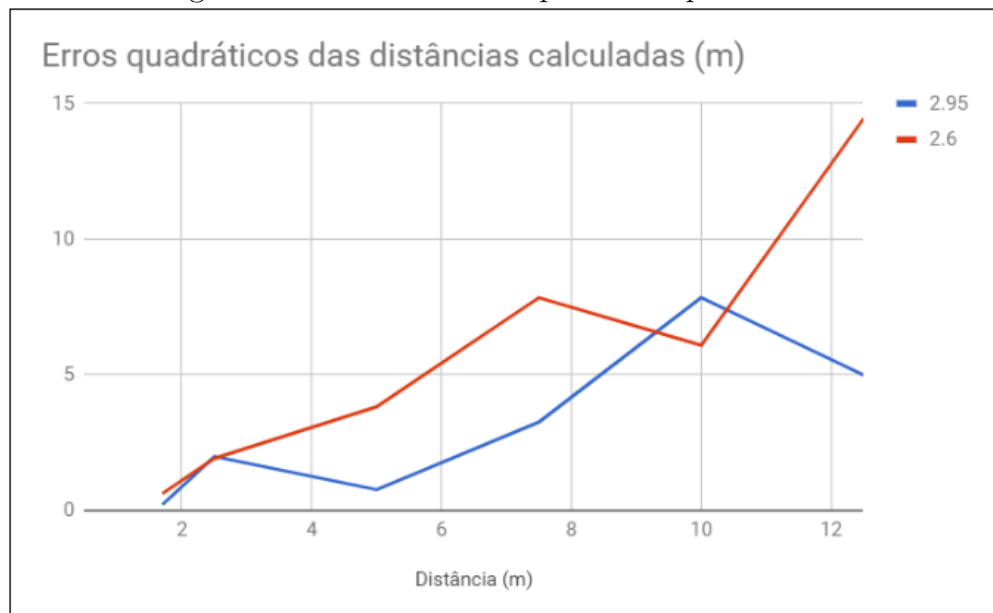
n	2,95	2,6
Erro quadrático médio (m)	2,82	4,06
Erro quadrático máximo (m)	7,84	7,84

Fonte: autores

Por fim, concordou-se em utilizar o valor de $n=2,95$ por apresentar menor erro.

O processo realizado para a determinação do coeficiente de propagação poderia ser automatizado com algoritmos que inclusive considerassem mais valores caso fosse interessante expandir a aplicação dessa forma, por exemplo, anexando sonares aos pontos de acesso.

Figura 14: Gráfico do erro quadrático para cada n

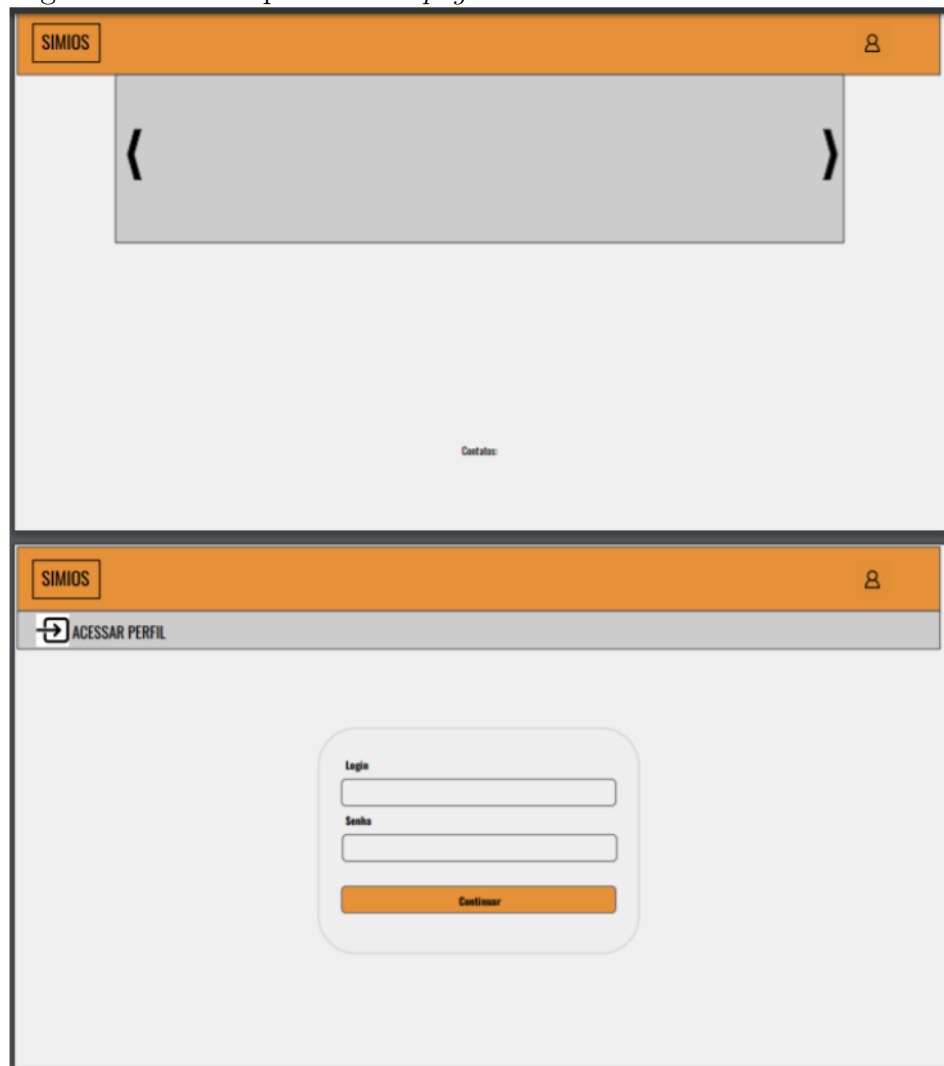


Fonte: autores

APÊNDICE C – FLUXO DE TELAS DA APLICAÇÃO

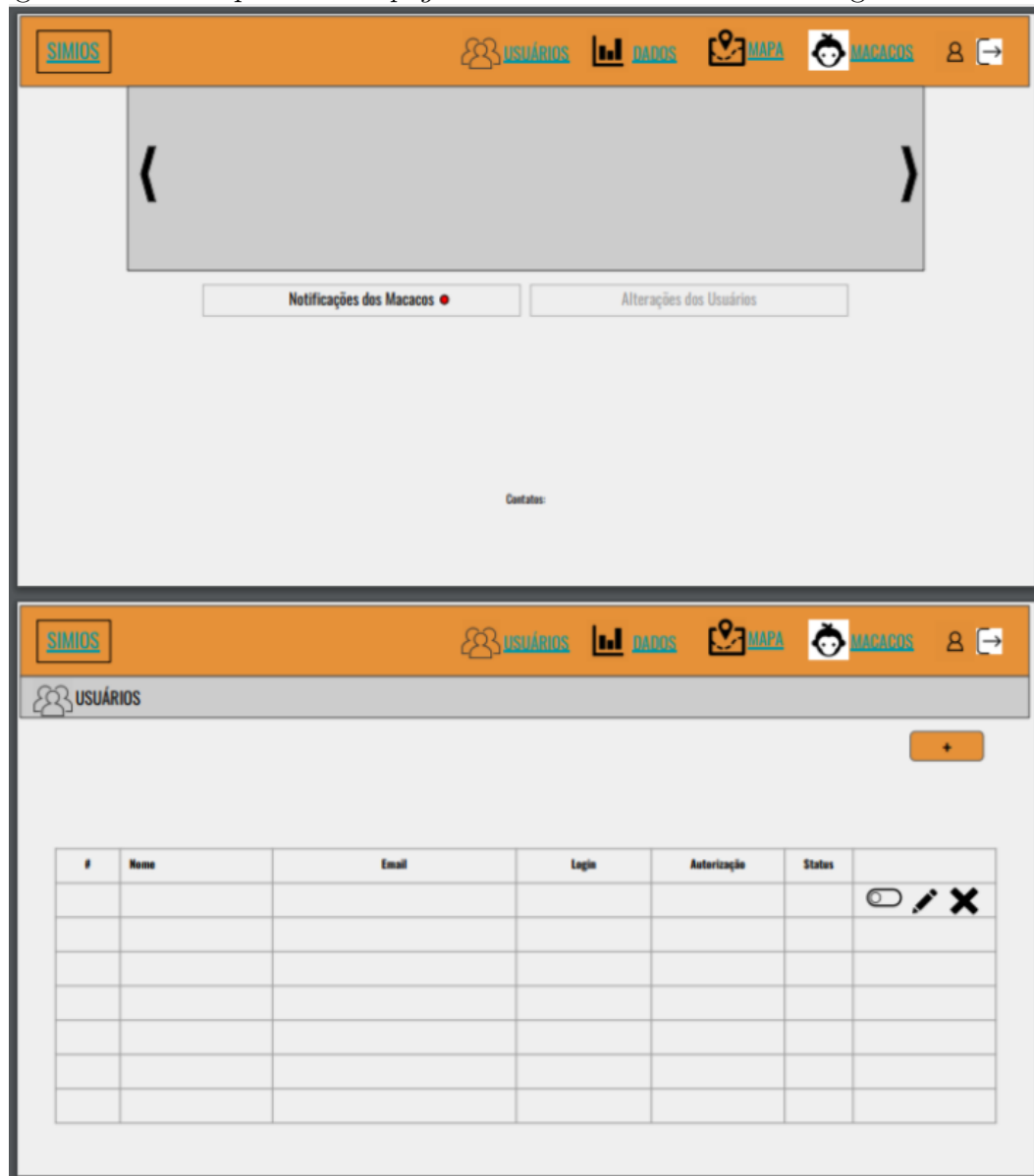
As figuras a seguir ilustram o protótipo de telas da aplicação *web*.

Figura 15: Protótipo da *homepage* não autenticada e tela de entrada



Fonte: autores

Figura 16: Protótipo da *homepage* autenticada e da tela de listagem de usuários



Fonte: autores

Figura 17: Protótipo das tela de cadastro de usuários e listagem de símios

The image displays two wireframe prototypes of a web application interface. Both prototypes share a common top navigation bar with the following elements from left to right: a 'SIMIOS' logo, icons and labels for 'USUÁRIOS' (Users), 'DADOS' (Data), 'MAPA' (Map), 'MACACOS' (Monkeys), a user profile icon, and a navigation arrow icon.

Top Prototype: CADASTRO DE USUÁRIOS (User Registration)

The header bar is labeled 'CADASTRO DE USUÁRIOS'. The main content area features a registration form with the following fields and controls:

- Nome** (Name): Text input field.
- Email**: Text input field.
- Login**: Text input field.
- Autorização** (Authorization): Text input field.
- Continuar**: Orange button to proceed.

Bottom Prototype: MACACOS (Monkeys List)

The header bar is labeled 'MACACOS'. The main content area includes a form to add a new monkey and a table listing existing ones.

Add Monkey Form:

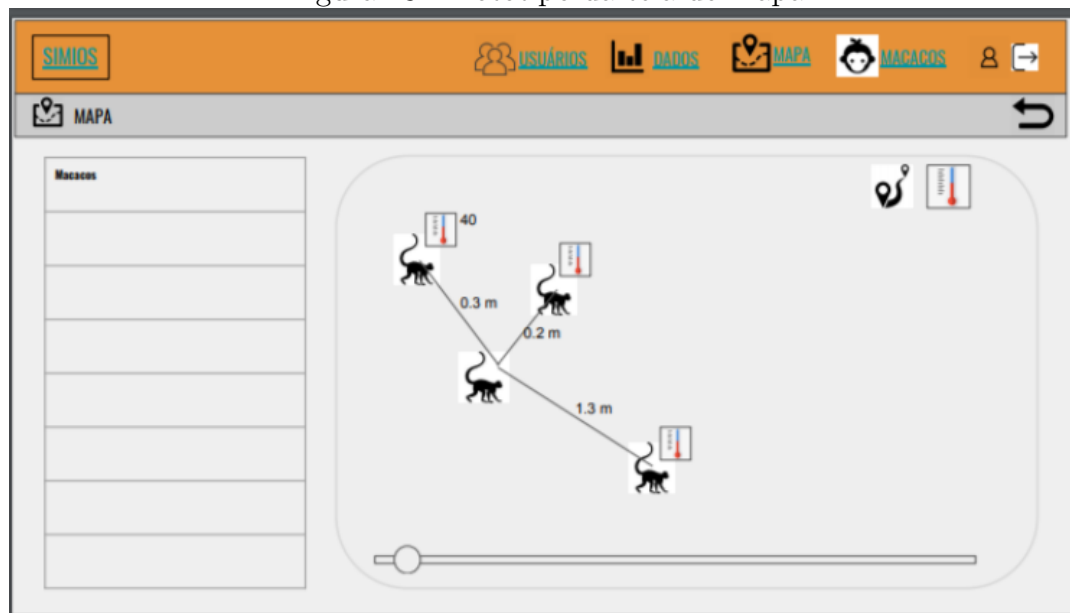
- ID**: Text input field.
- Nome**: Text input field.
- Gênero** (Gender): Text input field.
- Idade** (Age): Text input field.
- Grupo** (Group): Text input field with an orange '+' button.

Monkeys Table:

#	Nome	Gênero	Idade	Grupo	Temperatura (C)	
	Insira o nome...					

Fonte: autores

Figura 18: Protótipo da tela do mapa



Fonte: autores

APÊNDICE D – MEMORIAL DE CÁLCULO DO PERÍODO DO TIMER

Uma das estratégias de temporização do módulo de *target* mencionado no capítulo 6 é o uso de um periférico *timer* de propósito geral, disponível pelo Microcontrolador presente nas placas do *SensorTag* [8].

De maneira geral, um *timer* funciona como um contador, podendo ser de modo *up*, *down* ou uma combinação de ambos, periódico ou “*one-shot*”, Modulação por Largura de Pulso (PWM - *Pulse Width Modulation*), entre outros. No contexto deste trabalho, o uso do *timer* seria feito de modo periódico, e o MCU prevê o funcionamento de seus *timers* apenas no modo *up*. Portanto, um *timer* no *SensorTag*, essencialmente, funciona como um contador de 0 até um valor especificado por seu programador, podendo repetir isto de modo periódico ou não.

O periférico é programado por meio de um *driver*, cuja API é fornecida pela própria TI. Um exemplo de codificação seria o seguinte:

```
GPTimerCC26XX_Handle hTimer;

void timerCallback(GPTimerCC26XX_Handle handle, GPTimerCC26XX_IntMask
    interruptMask) {
    // interrupt callback code goes here.
    // Minimize processing in interrupt.
}

void taskFxn(UArg a0, UArg a1) {
    GPTimerCC26XX_Params params;
    GPTimerCC26XX_Params_init(&params);
    params.width = GPT_CONFIG_16BIT;
    params.mode = GPT_MODE_PERIODIC_UP;
```

```

params.debugStallMode = GPTimerCC26XX_DEBUG_STALL_OFF;
hTimer = GPTimerCC26XX_open(CC2650_GPTIMER0A, &params);
if(hTimer == NULL) {
Log_error0("Failed to open GPTimer");
Task_exit();
}

Types_FreqHz freq;
BIOS_getCpuFreq(&freq);
GPTimerCC26XX_Value loadVal = freq.lo / 1000 - 1;
GPTimerCC26XX_setLoadValue(hTimer, loadVal);
GPTimerCC26XX_registerInterrupt(hTimer, timerCallback,
    GPT_INT_TIMEOUT);
GPTimerCC26XX_start(hTimer);
while(1) {
    Task_sleep(BIOS_WAIT_FOREVER);
}
}

```

Um breve comentário acerca do código acima: há a declaração inicial de uma estrutura de referência a um *timer*, bem como os parâmetros que definem seu funcionamento (16 bits, periódico, sua função de *callback*, dentre outros). O parâmetro *loadVal* é o que define o valor até o qual o *timer* conta. Ele deve ser escolhido para controlar as chamadas à função de *callback*, a qual ocorre sempre que o contador chega em seu valor máximo (definido em *loadVal*).

Considerando que o contador é atualizado sincronizadamente com o *clock* do sistema de 48MHz (ou seja, a cada 1/48M segundos), e que ele deve ser atualizado (*loadVal* + 1), então o tempo para cada período do *clock* pode ser calculado como:

$$PeriodoTimer = \frac{loadVal + 1}{48MHz} \quad (D.1)$$

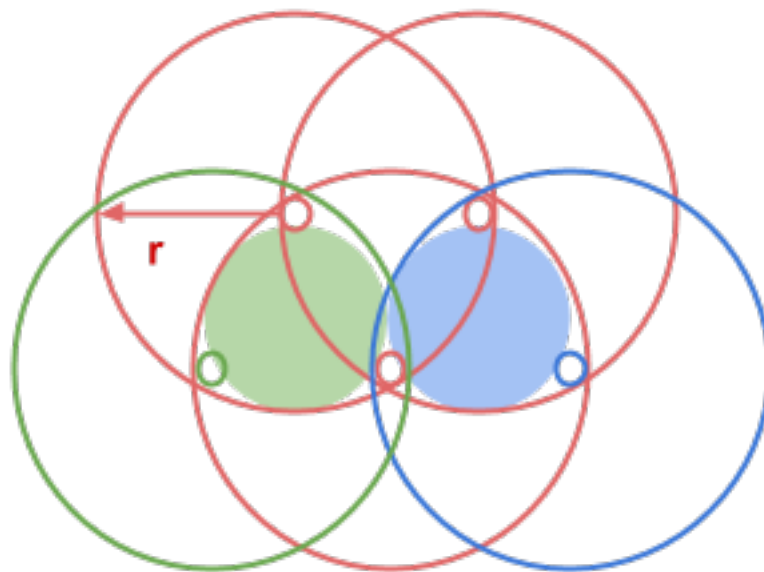
Fixando-se então o período desejado para o *timer*, o valor de *loadVal* deve ser:

$$loadVal = PeriodoTimer \times 48MHz - 1 \quad (D.2)$$

APÊNDICE E – ESTIMATIVA FINANCEIRA E OTIMIZAÇÃO DE CUSTOS

Da maneira que o sistema foi projetado, cada trio de pontos de acesso dispostos no ambiente forma um módulo capaz de encontrar a posição do *target* que se movimenta entre eles. Tendo isso em vista, compreende-se o modelo apresentado na figura a seguir, para o qual é formado o primeiro módulo com o trio de pontos de acesso desenhados em vermelho, abrangendo uma área aproximadamente circular de $\pi(\frac{r}{2})^2$ metros. Uma vez que o primeiro módulo é formado, nota-se que os próximos são compostos por dois nós do módulo adjacente mais um novo nó, como é o caso para as áreas verde e azul.

Figura 19: Modelo de mapeamento dos pontos de acesso



Fonte: autores

Assim, conclui-se que a quantidade de pontos de acesso necessários para cobrir uma

área A é:

$$n = 3 + \frac{A - A_0}{A_0}, \text{ sendo } A_0 = \pi\left(\frac{r}{2}\right)^2 \quad (\text{E.1})$$

Portanto, aplicando tal equacionamento para a reserva do Instituto Butantan, cuja cobertura completa seria de 80 hectares ($A = 800.000\text{m}^2$), e considerando o alcance medido para o dispositivo de $r = 30\text{m}$, temos que seria requisitada a aquisição de cerca de 1.130 *SensorTags*, cujo preço unitário é de 29 dólares, finalmente estimando 32.770 dólares de custo inicial.

É notável que este gasto é substancialmente superior ao que seria consumido com os *SensorTags* designados aos animais e com o controlador (RaspberryPi). Nesse sentido, é interessante tentar baratear o preço de cada ponto de acesso que, por não exigir a gama de sensores presente no *SensorTag*, pode ter seu dispositivo simplificado - seria possível projetar e imprimir novas placas que contivessem somente antena Sub-1GHz e MCU 1350, cujo preço unitário é de 3,5 dólares. Também é relevante estudar se realmente seria interessante cobrir absolutamente toda a área da reserva ou se existem locais que não são visitados pelos animais monitorados.

Quanto ao custo de manutenção, deve-se levar em conta que a exposição ao ambiente de selva pode ser bastante hostil, tanto por acúmulo de sujeira, exposição a intempéries e possibilidade de extravio do dispositivo. Além disso, existiria troca da bateria em cada macaco pelo menos 3 ou 4 vezes por ano, cujo valor unitário é de 5 reais.

APÊNDICE F – ESTUDO PARA APLICAÇÃO DO PROJETO EM REALIDADE AUMENTADA

Este trabalho de projeto de formatura teve parte de seu desenvolvimento realizado na disciplina de Interface Humano Computador. Na ocasião, foi necessário realizar um projeto de estudo de usuário como parte da avaliação na disciplina e com isto surgiu-se a possibilidade de se implementar uma solução em Realidade Aumentada (RA) como parte do projeto.

Uma pesquisa de estudo de usuário se justifica por buscar a melhor experiência para os biólogos primatologistas, os quais são os usuários finais deste sistema. No que se refere a uma implementação em RA, a ideia abrange a atuação do pesquisador em campo e a sua implementação o auxiliaria então a localizar os animais monitorados. O dispositivo utilizado deve ser capaz de mostrar uma projeção do ambiente com sinalização da localização dos animais e detalhes de interesse.

Neste apêndice, são apresentados os resultados obtidos da pesquisa realizada para uma possível implementação em Realidade Aumentada do projeto SIMIOS. Ela incluiu uma série de perguntas feitas a um conjunto de entrevistados, bem como a elaboração de um termo de consentimento feito na época para acordo destes entrevistados.

F.1 Stakeholders

São usuários primários veterinários e pesquisadores que realizam trabalho de campo em reservas naturais, que usarão o sistema com frequência. Usuários secundários são

estudantes de biologia ou veterinária que ocasionalmente realizem trabalho de campo acadêmico. Demais usuários poderiam ser visitantes de parques naturais interessados em ver animais silvestres.

F.2 Papéis e Variáveis de Perfil

Foram identificados os seguintes papéis:

1. Veterinário - trabalha diretamente com o animal e se preocupa essencialmente com o bem estar e saúde do mesmo (mais preocupado com informações que reflitam sua condição corporal);
2. Pesquisador (biólogo/psicólogo/estudante) - trabalha distanciado do animal, se preocupando em obter informações relacionadas ao comportamento do mesmo;
3. Visitantes (turistas) - interessados em localizar e interagir o máximo possível com os animais.

O pesquisador é escolhido como usuário primário para ser alvo do estudo. Para este papel, as variáveis relevantes levantadas são:

- Formação acadêmica (curso e grau): identifica a profundidade da pesquisa que é realizada
- Qual reserva o pesquisador trabalha: dimensiona o tamanho e a quantidade de animais que são monitorados;
- Há quanto tempo a pessoa trabalha com esse tipo de pesquisa: identifica o grau de experiência do usuário;
- Quanto tempo do seu ofício é dedicado ao monitoramento dos macacos: identifica a ênfase que é dada à tarefa.

F.3 Necessidades

As perguntas elaboradas que expressam a motivação deste trabalho são:

1. Quais são alguns dos procedimentos padrão do pesquisador/veterinário de campo?
O que é feito e onde?

2. Como é feito para localizar um macaco específico?
3. Que tipos de equipamentos e ferramentas são manipulados?
4. Quais informações são necessárias?
5. Que tipo de planejamento prévio é realizado para executar bem essa atividade?
6. A forma como tudo isso é feito te agrada? Existem dificuldades?

F.4 Instrumentos

A primeira técnica selecionada foi o questionário, pois, apesar de conter perguntas mais fechadas, é mais abrangente, podendo atingir vários perfis. A segunda sendo a entrevista que, por outro lado, pode engatilhar discussões mais abertas com o entrevistado ao mesmo tempo que não atingirá muitos stakeholders (planeja-se entrevistar preferencialmente usuários primários). Pelo fato de os usuários primários constarem de um grupo bem fechado cuja disponibilidade é limitada, optou-se pela entrevista por dois motivos essencialmente. Primeiro, por ser uma técnica que exigirá uma quantidade menor de entrevistados e, segundo, por encaixar mais no perfil de dinâmica privativa e rápida que se pode esperar que os pesquisadores corroboram em participar. Ambas as técnicas selecionadas são reflexivas (que exercitam a reflexão do usuário sobre o sistema, não avaliando seu comportamento à exposição do mesmo). A entrevista, no entanto, é qualitativa, ao passo que o questionário tenta quantificar a opinião dos usuários. Foi feito um formulário do Google para ser distribuído como questionário e utilizado como auxílio ao entrevistador. A entrevista foi dada por uma conversa gravada com duração de 1 hora com a prof^a Cristiane Pizzutto da FMVZ (USP).


F.5 Amostra

O questionário pode envolver quantas pessoas conseguir atingir, considerando que potencialmente alguma parte delas esteja fora dos papéis levantados - que, então, ou serão desclassificadas ou acrescentarão para a composição de papéis. A entrevista, por focar mais em um grupo bem específico de usuários e de relativo difícil acesso, espera-se que será possível contar com a participação de entre um ou dois usuários.

F.6 Resultados

As respostas obtidas através do questionário podem ser observadas no Anexo A deste documento. O questionário provavelmente sofreu determinado viés pelo fato de ter sido distribuído em meios sociais em que a maioria massiva do público presente era de jovens universitários brasileiros. Isso é comprovado, como pode ser observado, pela faixa etária (entre 19 e 26 anos) e pela formação acadêmica (graduação) obtidas. Ademais, foi possível concluir que não é tão simples encontrar universitários com qualquer experiência prática em pesquisa com animais. Ainda assim, os mesmos participantes inexperientes se mostraram interessados pelo projeto sendo desenvolvido. Dessa forma, pode-se concluir que seria importante que o dispositivo tivesse um direcionamento para ser mais educativo, focado no treinamento de novos pesquisadores. Assim, o primeiro perfil levantado é o seguinte:


Tabela 6: Primeiro Perfil Levantado

	Identidade	Cristian La Roche, 23 anos
	Status	Pesquisador
	Formação Acadêmica	Estudante recém graduado em medicina veterinária
	Experiência em Campo	Nunca fez pesquisa de campo envolvendo animais
	Expectativas	Acredita que ter auxílio de realidade aumentada pode ajudá-lo na atividade

Fonte: autores

Da entrevista, foi possível tirar duas conclusões principais. A primeira é que para os pesquisadores o mais relevante é conhecer informações relacionadas aos sinais vitais do animal - tais como a frequência cardíaca, a temperatura corporal e a movimentação - em tempo real. Segundo, é possível perceber que pesquisadores que trabalhem em cativeiro são, também, possíveis usuários do sistema, desde que o mesmo seja capaz de transmitir tais informações. Além disso, foram apontadas como dificuldades que potencialmente sanadas pelo sistema o registro e exibição dos dados coletados e a identificação individual de alguns animais silvestres, como cangurus. A entrevistada relatou ter tido problemas em se acostumar com software auxiliar no passado, mas culpa a baixa usabilidade do mesmo. Apesar disso, se mostrou bastante interessada em integrar qualquer meio tecnológico que se apresentasse capaz de auxiliar a pesquisa. Assim, foi possível criar um segundo perfil:

Tabela 7: Segundo Perfil Levantado

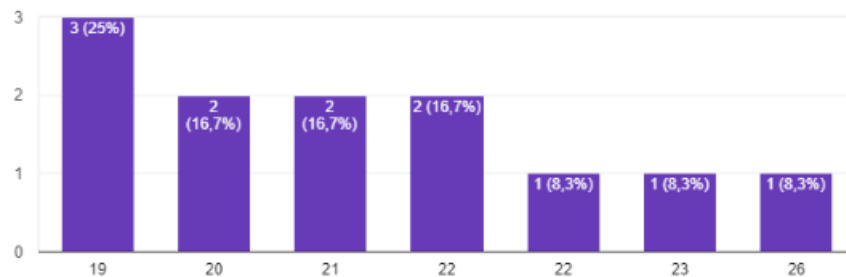
	Identidade	Brenda Araújo, 36 anos
	Status	Pesquisadora
	Formação Acadêmica	Doutorado em Medicina Veterinária
	Experiência em Campo	Frequentemente visita cativeiros de animais silvestres a trabalho.
	Expectativas	Não tem muita facilidade com novas tecnologias mas aceita o desafio em prol dos animais.

Fonte: autores

F.7 Registro das respostas do questionário

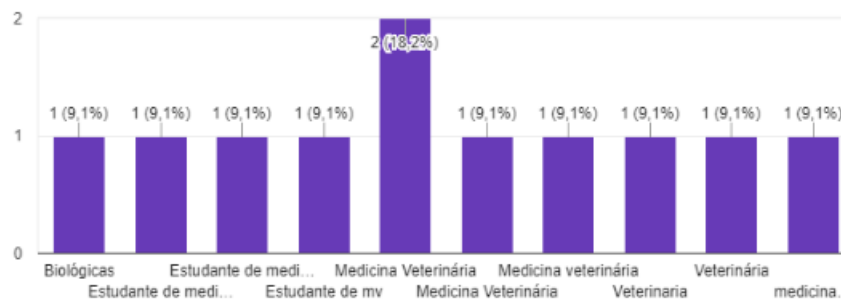
Inicialmente, foram feitas perguntas relacionadas às variáveis apontadas no item 3. Nem todas as variáveis foram incluídas pois algumas delas se fizeram claras somente após discutidos os resultados do questionário.

Figura 20: Quantos anos você tem?



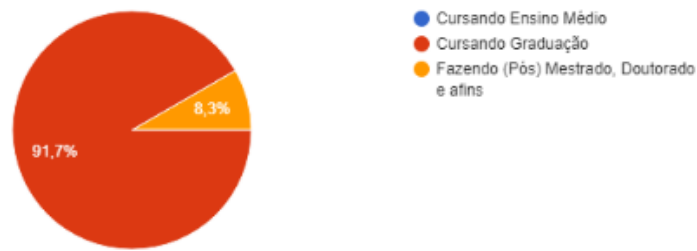
Fonte: autores

Figura 21: Qual sua área de atuação?



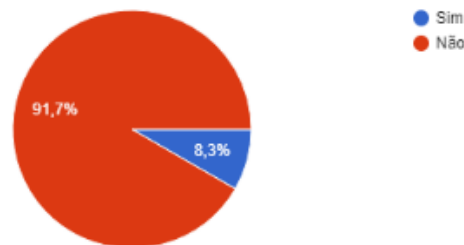
Fonte: autores

Figura 22: Qual sua formação?



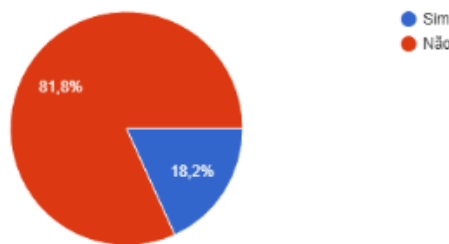
Fonte: autores

Figura 23: Já participou de pesquisa de campo envolvendo animais?



Fonte: autores

Figura 24: Já participou de pesquisa em laboratório envolvendo monitoramento do comportamento de animais?



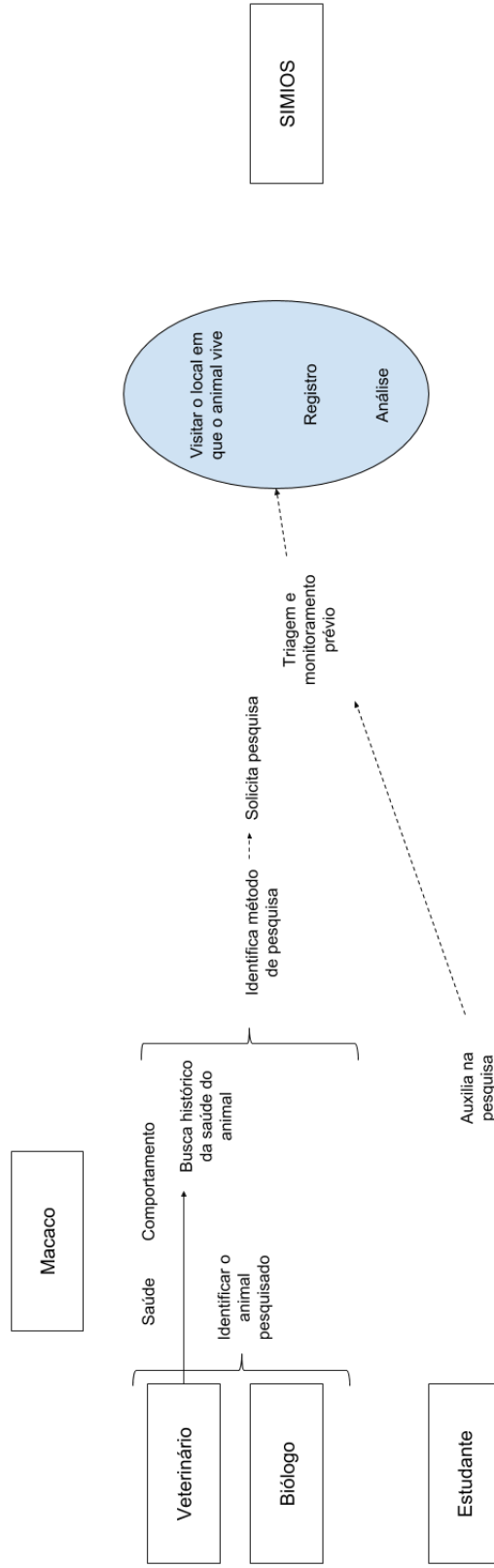
Fonte: autores

F.8 Mapa do Desafio

Após feito o estudo do Usuário, chegou-se numa ideia de prototipação de como a solução em Realidade Aumentada poderia ser.

O mapa de desafio visa mostrar a sequência de ações tomadas pelos usuários da interface de RA durante a utilização do sistema SIMIOS.

Figura 25: Mapa do Desafio



Fonte: autores