

Internet das Vacas: Aplicação de Tecnologia IoT para Localização Inteligente do Gado

Álvaro S. H. Neto
Engenharia da Telecomunicações
UFSJ
Email: alvaroshn@gmail.com

Fernando A. Teixeira
DTECH
UFSJ
Email: teixeira@ufs.edu.br

Resumo—A fuga de animais para estradas ou propriedades vizinhas é um dos problemas enfrentados diariamente por fazendeiros que criam gado em suas propriedades. As soluções existentes para monitoramento dos animais são de alto custo e alto consumo energético por se basearem em GPS, Rede Celular ou Redes via Satélite. A fim de contribuir para solução desse problema, neste trabalho apresentamos duas propostas que tem como objetivo informar ao fazendeiro se o animal está dentro ou fora de sua propriedade e também informar a localização aproximada do animal. Para informar estas localizações foram utilizados como mecanismo *chips* inteligentes que se comunicam através de redes *WI-FI* e também foram estabelecidos dois métodos como solução. O primeiro método rastreia a localização do animal em duas situações, na primeira é informado se o gado está dentro de sua propriedade e na segunda se ele se encontra em situação de fuga (fora da propriedade). Para o segundo método foi abordado o conceito de localização usando detecção de posição, tendo como objetivo identificar sua posição aproximada no interior da fazenda. Foram realizados experimentos para os dois métodos onde foi obtido, para o primeiro método, uma taxa de acerto de 93% para situação de verificar se o gado está no interior da fazenda e 99% para o caso de fuga, já para o segundo método foi apresentada uma taxa de acerto avaliada em 89% para erros de níveis aceitáveis de localização (onde as distâncias calculadas possuíam um desvio de menos de 2.5 metros da localização real), o que torna os dois métodos satisfatórios como soluções para o problema proposto.

I. INTRODUÇÃO

O Agronegócio no Brasil tem uma expressiva participação na economia do país, em 2015 ficou com 23% de fatia no Produto Interno Bruto (PIB) nacional, ante 21,4% em 2014, também é responsável por aproximadamente 37% de todos os empregos do país e responde por aproximadamente 39% das exportações [1]. A população de cabeças de gado bovino em fazendas brasileiras cresceu e atingiu o recorde de 215,2 milhões de animais em 2015, com um aumento de 1,3% sobre 2014, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), na pesquisa da Pecuária Municipal [2].

Muitas vezes os fazendeiros possuem dificuldade de acompanhar o comportamento de seu gado, devido à extensão de suas terras, quantidade de animais ou até mesmo por falta de recursos humanos suficientes. A falta de monitoramento, pode provocar a perda de bezerros ou vacas atolados em brejos, ou perder muito tempo procurando o gado em uma área sendo que o mesmo se encontra em outro extremo da propriedade. Além disso, há a possibilidade de fuga do gado

para fazendas vizinhas ou estradas correndo o risco não só da morte do animal como de ocorrerem acidentes. Tendo em vista estes problemas, é necessário apresentar alguma forma de monitoramento de gado à distância para que o monitoramento do gado se torne mais eficiente.

A solução proposta neste projeto para realizar o monitoramento e gerenciamento dos animais à distância é fazer o uso do conceito de (IoT - Internet of Things) que tem como objetivo conectar objetos à Internet. A IoT é uma infraestrutura de rede dinâmica e global com capacidades de autoconfiguração, baseada em protocolos de comunicação padronizados e interoperáveis, onde ‘coisas’ físicas e virtuais tem identidades, atributos físicos e personalidades virtuais. Usam interfaces inteligentes bem como são naturalmente integradas à Internet [4]–[6].

Com o auxílio desta tecnologia, onde tudo se torna conectado à rede, pode-se criar uma solução para este problema, transformando o rebanho em dados digitais que seriam gerenciados e controlados à distância via redes de comunicação sem fio, como ilustrado na Figura 1. Dessa forma, será possível rastrear a posição de cada animal e emitir um alerta caso ele esteja próximo a algum local proibido ou avisar quando seu comportamento esteja fora do normal, reduzindo assim a mortalidade dos animais e tendo uma maior eficácia na criação do rebanho.



Figura 1: Uso de redes *WI-FI* na fazenda para monitoramento dos animais.

Um desafio neste contexto é o de ser necessário cobrir a fazenda com uma infraestrutura de redes, que dependendo do tamanho da fazenda, sua topografia e sua localização geográfica, pode se tornar inviável. A infraestrutura celular que permitiria um acesso via 3G ou 4G, por exemplo, muitas vezes

não está disponível na área rural uma vez que as operadoras de telefonia priorizam a cobertura de áreas com uma maior densidade populacional.

Para resolver esse problema de cobertura de redes é proposto nesse trabalho a utilização de uma Rede de Sensores Sem Fio (RSSF) [7], [8] que pode ser definida como uma rede composta por nós sensores que, cooperativamente, monitoram e controlam o ambiente. Em uma RSSF, cada nó é formado por dispositivos sensores que apresentam algum poder computacional como memória e processador, esse poder computacional é responsável pelo funcionamento de aplicações e a retransmissão de mensagens em toda a rede, se comunicam por uma interface sem fio e possuem certa autonomia de energia. Dessa forma, com uma infraestrutura mínima de redes sem fio será possível coletar informações de localização do gado e repassar para um ponto central de processamento.

Mais especificamente, nesse projeto será desenvolvido um sistema de RSSF capaz de auxiliar o monitoramento de gados utilizando um *chip* ESP8266 [9] que atuará como um nó sensor que irá comunicar com uma ou mais antenas *WI-FI* fixada na fazenda (Figura 1). Através da análise da intensidade do sinal iremos inferir a localização de cada animal, e esta informação será futuramente salva em um servidor para armazenamento e análise dos dados.

O restante do trabalho foi dividido da seguinte maneira, na Seção 2 foram apresentados alguns trabalhos relacionados que envolvem o uso de softwares para gerenciamento de animais, na Seção 3 foi abordada uma visão geral do problema evidenciando os objetivos e mecanismos utilizados, na Seção 4 foram apresentados os conceitos matemáticos que envolvem o uso dos dois métodos propostos: ‘Detecção de Fuga’ e ‘Detecção de Posição’, na Seção 5 foi abordada a arquitetura da solução que evidencia como seriam aplicados os conceitos descritos para a solução do problema, já na Seção 6 foram apresentados os experimentos e resultados obtidos em cada um dos dois métodos e por fim, na Seção 7 foi apresentada a conclusão para o trabalho.

II. TRABALHOS RELACIONADOS

Foram estudados diferentes trabalhos e artigos para formar um embasamento teórico do artigo, podemos separá-los em duas categorias: (i) os que tratam de gerenciamento de animais utilizando conceito de Internet das Coisas que não entram no âmbito de localização e (ii) os trabalhos que envolvem o uso de técnicas de localização.

Para a primeira situação, podemos citar o aplicativo e software BOVCONTROL [11], que faz o uso de RFID, do inglês *Radio-Frequency IDentification* [15], para identificar cada animal a partir de uma etiqueta RFID fixada em sua orelha, o que é uma solução viável tendo em vista o preço e sua compatibilidade em questão de tamanho, porém este trabalho não aborda a questão de rastreamento de posição em tempo real dos animais, como proposto em nosso trabalho.

No artigo de Yangyang Han [3] é proposta uma solução de controle de qualidade e segurança em indústrias de laticínios apresentando como solução o uso da Internet das Coisas para



Figura 2: Modelo da etiqueta a ser utilizada.

estruturar o controle de qualidade da empresa, empregando um modelo de fluxo de dados que tem a capacidade de gerenciar a indústria por meio da rede. Este artigo possui uma ligação em nosso projeto, pois se trata da mesma proposta de gerenciamento de dados utilizando uma rede, onde por meio dela conseguiram automatizar uma indústria de laticínios, criando condições para fazer dela uma empresa menos propensa a erros. Apesar de apresentar conceitos e fundamentos do uso de Internet das Coisas, este artigo não engloba a parte de localização do animal como o nosso trabalho.

Já para trabalhos sobre monitoramento de animal utilizando redes de sensores sem fio, temos o trabalho do Soares [10]. Nesse trabalho foram apontados aspectos interessantes sobre o monitoramento de animal e também coleta de informações como a temperatura. Porém, a solução proposta foi projetada para ser acoplada ao animal através de uma coleira com dimensões bem superiores à etiqueta que usamos em nosso trabalho, conforme ilustrado na Figura 2. Além disso, os componentes de hardware usados requerem um consumo energético e custo financeiro bem superior ao *chip* utilizado em nossa solução.

Ademais, outro trabalho a ser mencionado é o CAT-TLEWATCH [12]. A solução trata de problemas semelhantes quanto ao monitoramento de animais em uma fazenda e possui várias técnicas de gerenciamento de gados incluindo o uso de satélites, alarmes antifurtos e até mesmo drones, porém, uma consideração a ser feita é quanto ao consumo energético elevado e complexidade do projeto. Nosso objetivo é ter um hardware mais barato e simples que possua uma boa eficiência energética para evitar recargas ou trocas de baterias em curtos períodos de tempo e somado a isto ser efetivo e atuar bem na solução do problema proposto.

Outro mecanismo de gestão que vale ser mencionado é o LIBERIUM [13] que com a aplicação de seus hardwares transformam o agronegócio em uma agricultura de alta precisão, seus hardwares se baseiam em tecnologias de sensores que fornecem monitoramento em tempo real tanto de gados quanto de outros parâmetros como velocidade e direção do vento, pluviômetro, temperatura, radiação solar ou umidade do solo. Seu grande portfólio fornece solução para vários ramos da agricultura, porém eles possuem um enfoque maior no que diz respeito ao monitoramento e gestão de dados do animal, como sua temperatura corporal, previsões quanto à sua gestação, etc. Ou seja, não engloba totalmente a parte de localização do animal como o nosso trabalho.

III. VISÃO GERAL DO PROBLEMA

Esse projeto visa desenvolver uma solução para monitoramento em tempo real do gado utilizando a tecnologia de Internet das Coisas, com *chips* de baixo consumo energético e baixo custo. Há no mercado soluções de monitoramento via Satélite ou Redes Celular, mas que necessitam de um alto investimento em hardware e também uma dificuldade operacional devido a necessidade trocar baterias com frequência.

O objetivo principal foi desenvolver um sistema composto por uma rede de sensores sem fio, programando e testando *chips* inteligentes de localização que serão acoplados nos gados para que estes sejam capazes de se comunicarem entre antenas *WI-FI* via rede e auxiliem na análise do monitoramento do animal para resolver possíveis problemas de fuga da propriedade e também conhecer sua localização no interior da fazenda. Para isso, foram coletadas e enviadas informações pela rede a fim de serem salvas em um servidor para o processamento e análise delas, como ilustrado na Figura 3.

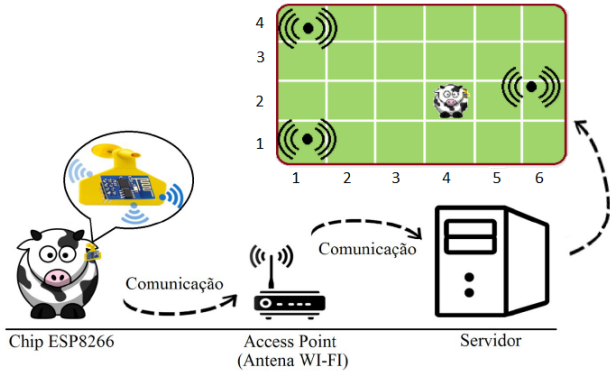


Figura 3: Esquemático da comunicação entre o *chip*, antena e servidor

O *chip* utilizado foi o módulo ‘ESP8266’ que possui conectividade *WI-FI* e que através de algumas configurações foi feita a sua comunicação e transporte de informações necessárias através da rede para realizar o monitoramento. Este módulo mostrou ser indicado para o desenvolvimento do projeto, pois além de possuir a conectividade *WI-FI*, ele também possui um tamanho reduzido onde através de sua utilização conseguimos chegar ao resultado esperado para o rastreamento do gado. Utilizando a aplicação do *chip* foi coletada a intensidade do sinal recebido das antenas que estiveram ao seu alcance, e em seguida, repassadas estas informações para o servidor.

Para as antenas, foram utilizadas antenas *WI-FI* que permitem o enlace entre os *chips* e o servidor, que por sua vez, possuem implantados a inteligência do sistema. Em seguida, foram realizados testes com maior número de antenas para inferir a posição aproximada de cada animal usando técnicas de trilateração para o método de detecção de posição [16], [17], [20]. O servidor inicialmente foi utilizado apenas para receber e salvar as informações em um arquivo, para que o tratamento dos dados fosse modelado e realizado via softwares,

processando assim as informações recebidas a fim de inferir a localização dos animais.

Para o fazendeiro é interessante saber se o gado está em sua propriedade ou não, mas também é interessante saber, caso o gado esteja, em qual setor da fazenda ele se encontra, por exemplo, o gado pode estar em uma zona considerada segura por ser dentro da fazenda, porém estar próximo de um brejo ou um local perigoso em que o fazendeiro gostaria de monitorar. Para isto são necessárias duas soluções, uma mais simples que apenas alertará em caso de fuga e outra um pouco mais complexa que emitirá quantos alarmes forem necessários.

Com o uso do *chip* ‘ESP8266’ foi possível coletar informações recebidas por antenas posicionadas em determinadas regiões da fazenda através da rede, estas informações coletadas são sobre a potência do sinal que o *chip* estava recebendo.

De posse da potência recebida são propostas duas soluções para o problema de monitoramento, a primeira foi denominada como ‘**Detecção de Fuga**’ que utiliza esta informação em conjunto com aplicação de filtros para dizer se o animal está dentro ou fora da região da fazenda, já a segunda solução, chamada de ‘**Detecção de Posição**’ se trata de um aprimoramento da primeira, onde não só é possível informar as duas situações, como também, através de análises, transformar a fazenda em um vetor de coordenadas virtual e calcular a localidade aproximada do *chip* neste vetor.

IV. MODELAGEM MATEMÁTICA DO PROBLEMA PROPOSTO

Nesta seção apresentaremos os conceitos fundamentais utilizados em cada método. Para o método ‘Detecção de Fuga’ discutiremos sobre a determinação da distância via RSSI. Já para o método de ‘Detecção de Posição’ descreveremos os métodos matemáticos necessários para realizar essa análise.

A. Método 1 - Detecção de Fuga

A potência recebida pelo *chip* é dada em decibéis e denominada RSSI - (*Received Signal Strength Indication*). Sabe-se que ondas de rádio se propagam de acordo com a lei do inverso do quadrado, que afirma que a intensidade da onda diminui de acordo com o quadrado da distância da fonte que a emite. Logo, para descobrir a distância que o *chip* está da antena apenas por base no valor RSSI recebido, aproximamos a distância com base na relação entre a intensidade do sinal transmitido e recebido, através da equação 1.

$$RSSI = -10n.log(d) + A \quad (1)$$

Onde: d é a distância em metros, A a potência do transmissor na distância de 1m e n a constante de propagação do sinal.

A constante de propagação do sinal (n) depende do ambiente e condições da geometria do local a ser medido e além disso obstáculos interferem neste valor. Esta fórmula é de difícil aplicação na prática devido à variação de ambiente, obstáculos, etc. No início deste trabalho foram realizadas algumas tentativas aplicando esta metodologia, porém foram observadas grandes variações nos resultados obtidos o que levou a usar outra abordagem.

Para obter valores mais confiáveis foi utilizado um procedimento empírico de coleta de dados inspirado nesta fórmula, onde o objetivo foi encontrar uma equação que varie o RSSI pela distância da mesma maneira, porém com valores mais estáveis, para isto foi preciso ser medido o valor de RSSI em diferentes distâncias conhecidas e em seguida aplicar filtros afim de tratar possíveis variações dos valores coletados e futuramente preparar gráficos para auxiliar no processo de encontrar a distância dada uma determinada potência através do uso de regressão linear.

Tanto para o Método 1 quanto para o Método 2 o filtro escolhido para este gerenciamento das potências recebidas foi a média, que tende a estabilizar o valor RSSI eliminando possíveis *outliers*¹.

$$\bar{x} = \sum \frac{x_i}{N} \quad (2)$$

Onde: \bar{x} é o valor da média a ser calculada, x_i o valor da amostra de índice i , e N representa o número total de amostras.

B. Método 2 - Detecção de Posição

Para apresentar o conceito deste método serão mostradas equações matemáticas em conjunto com gráficos para melhor entendimento do que está se passando durante cada etapa. Abaixo estão representadas três equações de circunferências, são elas:

$$r_1^2 = (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 \quad (3)$$

$$r_2^2 = (x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 \quad (4)$$

$$r_3^2 = (x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 \quad (5)$$

Onde: x, y são as coordenadas do *chip* que queremos conhecer, x_n, y_n as coordenadas da antena ' n ', r_n as distâncias estimadas entre *chip* e antena ' n ' com $n = 1, 2, 3$ pois são utilizados três *access points*.

Abaixo é mostrado o Gráfico 4 para as equações (3), (4) e (5). Assumindo (x, y) como variáveis e estabelecendo valores fixos para as coordenadas das *access points* conforme Tabela I.

Tabela I: Coordenada de cada antena (metros).

Access Points (AP)	Coordenada x	Coordenada y
AP 01	0	0
AP 02	0	5
AP 03	2,5	5

O objetivo agora é manipular as equações com a finalidade de isolar as variáveis que queremos descobrir, que são as

¹Na estatística, *outliers*, corresponde a um valor aberrante ou atípico, é uma observação que apresenta um grande afastamento das demais da série ou que é inconsistente. A existência de outliers implica, tipicamente, em prejuízos a interpretação dos resultados dos testes estatísticos aplicados às amostras.

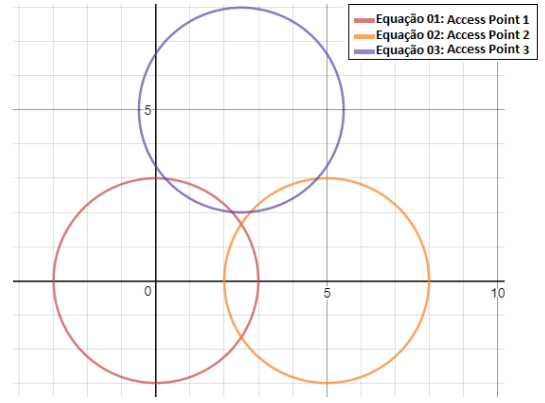


Figura 4: Comportamento gráfico das equações descritas.

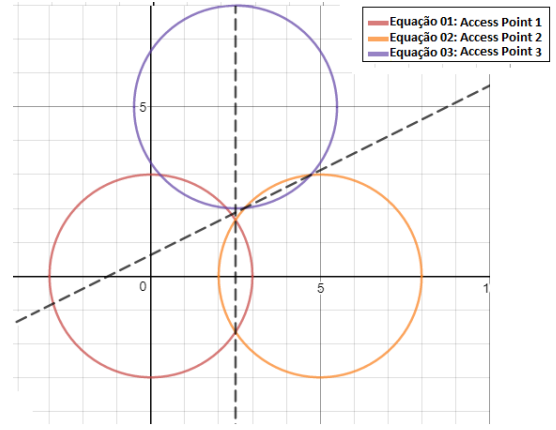


Figura 5: Comportamento gráfico das retas x e y realizando o ponto de interseção.

coordenadas do *chip* (x, y) . Para isto, iguala-se as equações (3) e (4), e também (4) e (5). Restando apenas duas equações (6) e (7):

$$Ax + By = C \quad (6)$$

$$Dx + Ey = F \quad (7)$$

Onde:

$$A = (-2x_1 + 2x_2)$$

$$B = (-2y_1 + 2y_2)$$

$$C = r_1^2 - r_2^2 - x_1^2 + x_2^2 - y_1^2 + y_2^2$$

$$D = (-2x_2 + 2x_3)$$

$$E = (-2y_2 + 2y_3)$$

$$F = r_2^2 - r_3^2 - x_2^2 + x_3^2 - y_2^2 + y_3^2$$

São estabelecidas condições para solução deste problema, são elas:

- Condição 1 $\rightarrow x_1 = x_2, y_1 \neq y_2, x_2 \neq x_3$

$$x = \frac{F - (\frac{E.C}{B})}{D}, y = \frac{C}{B}$$

- Condição 2 $\rightarrow y_1 = y_2, x_1 \neq x_2, x_2 \neq x_3$

$$x = \frac{C}{A}, y = \frac{F - (\frac{C.D}{A})}{D}$$

- Condição 3 $\rightarrow x_2 = x_3, x_1 \neq x_2, y_2 \neq y_3$

$$x = \frac{C - (\frac{F.B}{E})}{A}, y = \frac{F}{E}$$

- Condição 4 $\rightarrow y_2 = y_3, x_2 \neq x_3, x_1 \neq x_2$

$$x = \frac{F}{D}, y = \frac{C - (\frac{F.B}{D})}{A}$$

Igualando as equações (6) e (7) e satisfazendo uma das condições citadas acima, podemos observar no gráfico da Figura 5 duas retas, uma para a variável x e outra para a variável y , que são respectivamente as coordenadas (x, y) do *chip*, e o ponto de interseção entre as elas é onde está localizado o *chip* no vetor de coordenadas. Em resumo, basta uma condição ser satisfeita para que torne possível inferir a localização do *chip*.

Como pode ser visto na Tabela I, ela respeita a Condição 01, podendo assim ser calculadas as coordenadas em que o *chip* está. Portanto, o desafio para saber a localização utilizando este método envolve encontrar a distância que o *chip* se encontra de cada *access point*.

V. ARQUITETURA DA SOLUÇÃO

Para o problema de conhecer apenas o estado do animal na fazenda, ou seja, dizer se ele está ‘dentro’ ou ‘fora’, foi utilizado apenas uma antena *WI-FI* situada na região do interior da fazenda de maneira que se o *chip* acoplado no gado receber um valor da potência do sinal desta antena abaixo, próximo ou acima de determinado limiar ser possível inferir sua posição, já para a outra situação, que engloba além de conhecer o estado também saber em qual setor o gado se encontra, foram utilizadas três antenas *WI-FI* situadas em posições previamente conhecidas para através da leitura e interpretação das três potências recebidas pelo *chip* inferir a posição aproximada do gado. Posteriormente, futuros grupos de pesquisas atuarão em processos de criação de interfaces simples para o fazendeiro ser capaz de gerenciar estes dados através de celulares ou computadores e receber alertas em caso de alguma anormalidade. O *chip* opera tanto quanto receptor quanto transmissor, podendo além de ser acoplado no gado, atuar como as próprias antenas *WI-FI* da fazenda.

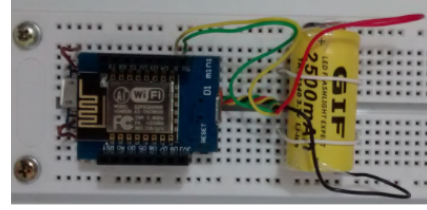


Figura 6: Protoboard com o *chip* conectado a um módulo carregador de bateria e uma bateria de 2500mAh.

A. Método 1 - Detecção de Fuga.

A Solução para o problema utilizando este método envolve uma fase de calibragem onde o *chip* recebe o valor da potência do sinal da antena em determinadas regiões e estabelece limiares para posteriormente analisar se este valor é respeitado. Após isso, estabelecer três tipos de alertas para o fazendeiro receber em seu celular/smartphone, são eles: O alerta verde, que aparece quando o *chip* estiver dentro da cerca, simulando uma situação normal onde o gado está na área delimitada pelo fazendeiro, que ocorrerá quando o valor da média atual estiver acima do limiar da região segura. O alerta amarelo, que ocorre quando o *chip* estiver próximo da cerca, simulando uma situação de alerta para o dono do gado, que ocorre quando o valor da média atual estiver entre os dois limiares. E por fim, o alerta vermelho, que é gerado quando o *chip* estiver fora da cerca, simulando uma situação anormal, ou seja, fuga do gado que ocorrerá quando o valor da média atual for menor que o limiar da região insegura.

B. Método 2 - Detecção de Posição.

Já para este problema, a solução também possui uma fase de calibragem onde o *chip* lê e armazena a potência de três antenas simultaneamente para que a partir destas leituras aplicar os conceitos do método de detecção de posição e conhecer a posição aproximada do gado na fazenda, para isto a ideia foi definir quadrantes. A divisão da área fazenda em um vetor de coordenadas será usada para que no futuro o fazendeiro seja capaz de delimitar determinadas regiões neste vetor como zonas de alertas, como por exemplo, uma região próxima do brejo onde o fazendeiro não quer que seus gados estejam, quando a inteligência do sistema detectar proximidade do gado destes locais específicos serão emitidos alertas. Fazendo assim com que o fazendeiro possa ter controle do seu rebanho com um monitoramento à distância e em tempo real.

C. Detalhes de Implementação - Ferramentas Utilizadas

Na parte de hardware foram utilizados os *chips* ‘ESP8266’ que se comportava tanto para receptor quanto transmissor (*chip* e antena). Para ligar o *chip* era preciso conecta-lo a uma entrada USB energizada, mas também foi feito um protótipo de bateria para mantê-lo ligado sem necessitar de cabecamentos e extensões, a Figura 6 representa a foto do protótipo que fornece a carga necessária para energizar o *chip*.

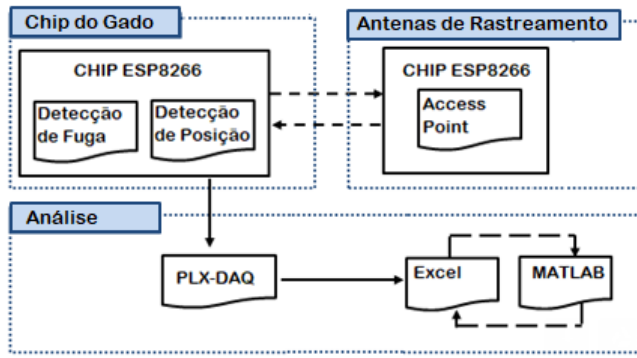


Figura 7: Diagrama de Blocos exemplificando como a comunicação entre os vários pontos ocorreu.

Na parte de Softwares, foram utilizados os programas Arduino, Excel e Matlab [18]. O Arduino era usado para criação do código fonte que era exportado e executado pelo *chip*. Através de comunicação via porta serial, para armazenar os *outputs*² fornecidos pelo *chip* foi utilizado um programa em linguagem VBA/Excel PLX-DAQ [14] que se comunicava com a porta serial do *chip* e recebia os valores armazenando-os em uma planilha. Em seguida, foi utilizado o programa Matlab para modelagem matemática do problema para processamento e visualização dos resultados. A Figura 7 representa um diagrama de blocos que exemplifica como estas etapas da comunicação ocorriam.

VI. EXPERIMENTOS

Nesta seção foram apresentados os experimentos e resultados obtidos para cada método, ambos precisam de uma fase de calibragem que é descrita brevemente antes da execução do experimento.

A. Método 1 - Detecção de Fuga.

Para a realização deste experimento é necessária uma fase de calibração que faz a coleta de N valores RSSI de uma antena *WI-FI* fixada dentro da região da fazenda, no nosso experimento o valor foi de 500 amostras em cada região, esta coleta ocorre com o *chip* em duas situações: dentro da cerca e fora da cerca, tendo assim dois vetores dados, um para cada região. O próximo passo é utilizar o filtro média para estes valores e assim estabelecer dois limiares, um para cada situação.

De posse destes limiares é iniciada a segunda etapa, coleta em 'tempo real' onde o *chip* é programado para realizar a coleta de novas amostras do sinal recebido, armazena-las em um vetor e calcular sua média. Em seguida, basta analisar se esta nova média é maior ou menor que os limiares previamente estabelecidos durante a fase de calibração.

Na Figura 8 é ilustrado o comportamento gráfico deste método. O gráfico (a) representa as coletas realizadas na zona delimitada como 'dentro' da cerca, o eixo vertical trata-se da

Tabela II: Potência (RSSI) de cada antena a cada metro.

Metro (s)	AP 01	AP 02	AP 03
1	-41,4	-42,1	-42,2
2	-45,9	-45,7	-45,5
3	-50,6	-49,5	-52,8
4	-50,55	-54,05	-58,2
5	-51,55	-56,05	-57,45

potência recebida [dbm] enquanto o eixo horizontal representa o tempo de coletas realizadas para o número de amostras, para o gráfico (b) temos o mesmo comportamento, porém agora para a região 'fora' da cerca. Os gráfico (c) e (d) possuem duas retas, uma verde e outra vermelha, elas representam respectivamente a média dos valores coletados 'dentro' e 'fora' da cerca, os pontos brancos indicam os pontos coletados. Para o gráfico (c) podemos observar o resultado obtido para a situação 'dentro da cerca', onde apenas 7% dos valores coletados indicaram erro ao ultrapassarem o limiar vermelho que representa fuga da propriedade. Já para o gráfico (d), o limiar a ser avaliado é o verde, que se não for ultrapassado representa que o *chip* ainda está dentro da propriedade, a taxa de erro para esta situação foi de apenas 1%.

Após análise notamos que apesar de ser um método simples para dizer a localização do animal possuiu uma razoável taxa de acertos ao avaliar se o animal está na zona da fazenda ou em situação de fuga, a Figura 9 ilustra os resultados obtidos com o uso deste método em formato gráfico.

B. Método 2 - Detecção de Posição.

Para a fase de calibragem foi estabelecida uma altura fixa entre cada antena e o *chip* e realizada a coleta de N amostras da potência do sinal a cada metro de distância, no nosso experimento este valor foi de 100 amostras a cada metro, os dados coletados foram enviados para o Excel onde foi calculada a média da potência a cada metro percorrido para cada *access point*. Com base nesta coleta inicial, foi gerada a seguinte Tabela II contendo a média da potência variando a cada metro.

Foram gerados gráficos representados pela Figura 10 a partir dos dados informados na Tabela II, onde o eixo 'y' indica a potência que o *chip* está recebendo em determinado ponto do vetor de coordenadas [dBm] e o eixo 'x' representa o valor da distância [m] que queremos encontrar. Foram traçadas suas respectivas linhas de tendências (indicadas pelas retas vermelhas) que realizam regressão linear no Excel, obtendo assim três equações para cálculo das distâncias por base no valor RSSI recebido: (8) (9) (10), para as antenas 1, 2 e 3 respectivamente.

$$Distancia_1 = -\frac{RSSI_1 + 40,515}{2,495} \quad (8)$$

$$Distancia_2 = -\frac{RSSI_2 + 38,605}{3,625} \quad (9)$$

$$Distancia_3 = -\frac{RSSI_3 + 38,27}{4,32} \quad (10)$$

²outputs - valores de saída que o *chip* exibe via porta serial.

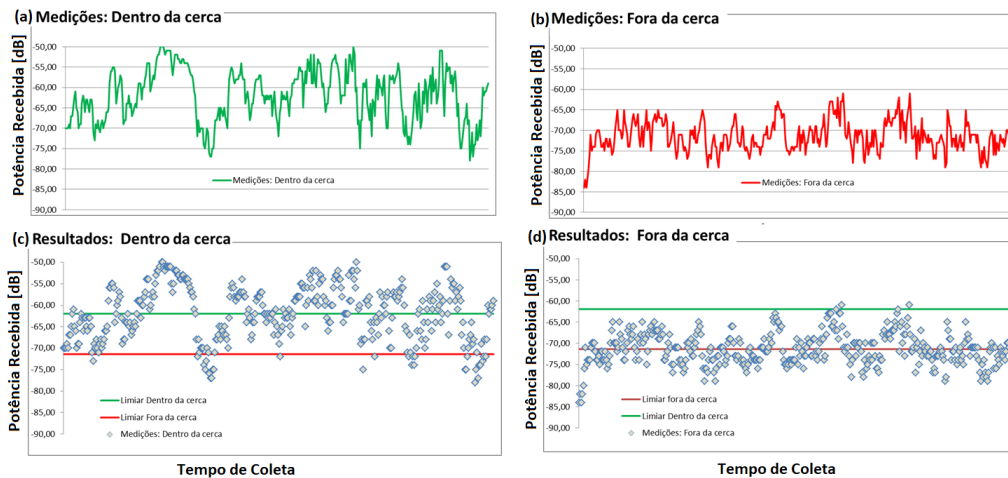


Figura 8: Método 1 - Detecção de Fuga: (a) Medições Dentro da Cerca (b) Medições Fora da Cerca (c) Resultados Obtidos Dentro da Cerca (d) Resultados Obtidos Fora da Cerca.

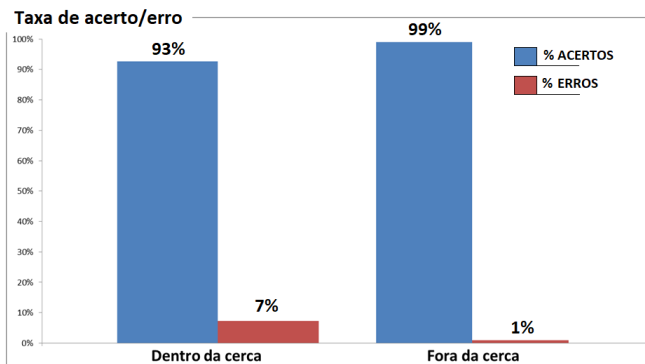


Figura 9: Análise dos resultados obtidos após o experimento 'Detecção de Fuga'.

Por fim, para a realização do experimento, foi acoplado o *chip* no notebook (simulando o comportamento do gado) e posteriormente dividida uma área de 25m² em 9 quadrantes. Cada quadrante possuía 1,66m x 1,66m e foi medida a potência que cada antena enviava para o *chip* simultaneamente para serem aplicadas nas equações encontradas após a regressão linear. A Figura 11 mostra como esta coleta ocorreu.

A Tabela III ilustra o resultado obtido utilizando este método e a Figura 12 fornece um resultado visual da variação do comportamento real do *chip* com o calculado. As posições das três antenas são ilustradas pelos triângulos azuis que estão posicionado de maneira semelhante ao ocorrido durante o experimento, cada um dos nove quadrantes está nomeado seguindo a ordem do padrão adotado durante o experimento, as esferas cinzas indicam a posição real do *chip* durante a medição, já as setas que conectam as esferas demonstram a distância em que houve erro na medição, estes erros foram avaliados em baixo, médio e alto seguindo o conceito de distância euclidiana que tem como objetivo calcular a distância

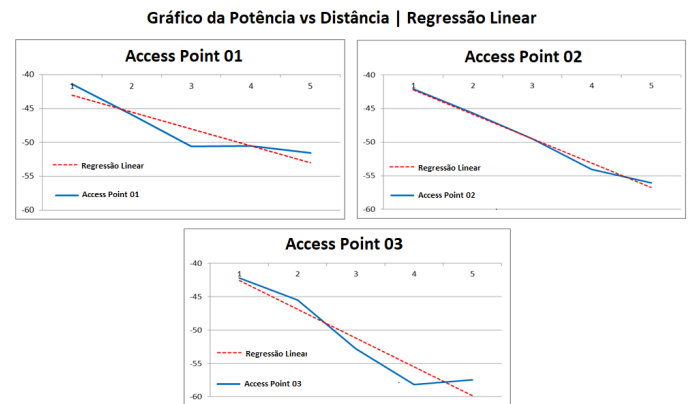


Figura 10: Comportamento gráfico e regressão linear da relação entre potência e distância de cada antena.

entre dois pontos, foi adotado que pontos que possuíam erros de até dois metros eram erros baixos, erros entre dois metros e dois metros e meio erros médios e erros acima de dois metros e meio erros altos, as esferas que obtiveram coloração verde significam que possuíam um erro baixo, já as de coloração amarela um erro médio e por fim a coloração vermelha indicando um erro alto.

VII. CONCLUSÃO

Com o auxílio da Internet das Coisas e do módulo WI-FI 'ESP8266' foram realizados experimentos para solucionar o problema de gerenciamento de gados em uma fazenda, o problema foi dividido em duas partes onde a primeira focava em avisar uma possível fuga do animal e a segunda tinha como objetivo alertar não só em caso de fuga como também de proximidade do animal de determinados locais que o proprietário da fazenda não gostaria que eles tivessem acesso.

Tabela III: Cálculo do nível de erro por quadrante, posição real versus posição calculada (coordenadas X e Y) e o respectivo erro em metros (Distância Euclidiana) (metros), bem como seu nível (baixo, médio ou alto)

Quadrante	Posição Real		Posição Calculada		Erro (m)	Nível
	Coord. X	Coord. Y	Coord. X	Coord. Y		
1	0,83	0,83	2,98	1,51	2,25	Médio
2	2,43	0,83	2,48	0	0,83	Baixo
3	4,12	0,83	2,24	0	2,05	Médio
4	4,12	2,43	5	2,02	0,96	Baixo
5	2,43	2,43	3,93	1,85	1,61	Baixo
6	0,83	2,43	5	3,31	4,26	Alto
7	0,83	4,12	3,10	5	2,43	Médio
8	2,43	4,12	4,48	5	2,23	Médio
9	4,12	4,12	5	4,37	0,91	Baixo



Figura 11: Registro fotográfico do experimento realizado na Faculdade sobre a coleta de amostras da potência do sinal em cada quadrante.

Após análises com os dois métodos para determinar localização do gado na fazenda, pode-se observar que o método 2 é um método mais robusto e que possui grande potencial para ser aprimorado em trabalhos futuros com as contribuições aqui descritas, este método obteve uma taxa de 89% de acerto. Quanto ao método 1, apesar de sua simplicidade de programação e implementação pois faz o uso de apenas uma antena *WI-FI* comportou-se como uma solução viável para o problema de fuga do gado da fazenda obtendo uma média de 96% no índice de acertos.

Para a realização deste projeto os dados foram coletados dados via porta serial e não via rede. Esta coleta pela rede poderia ser realizada criando uma estrutura de rede Mesh [19], por exemplo, que poderá ser implementada em trabalhos futuros.

REFERÊNCIAS

[1] ECOAGRO. O agronegócio no brasil, Agosto 2014. Disponível em: <http://www.ecoagro.agr.br/agronegocio-brasil>. Acesso em 18 de Agosto de 2016.

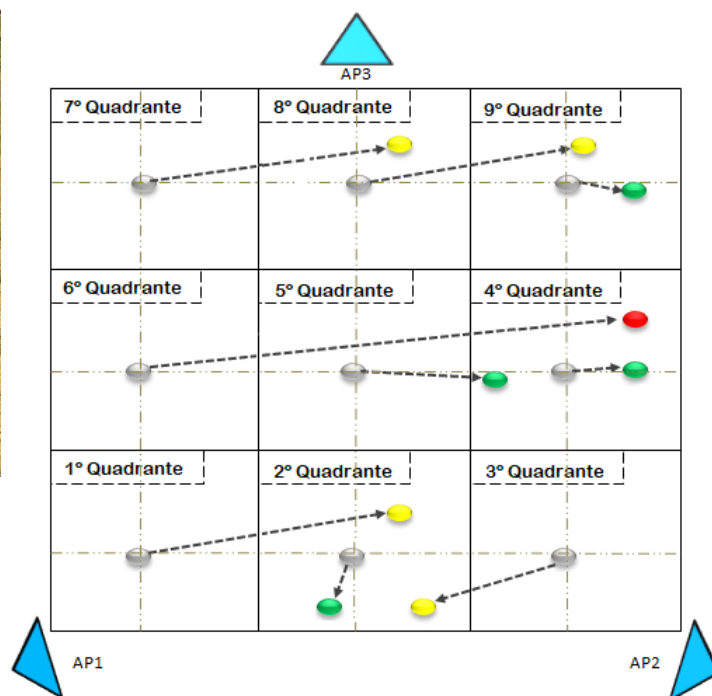


Figura 12: Projeção das posições reais e estimadas no vetor de coordenadas que foi estabelecido durante o experimento.

- [2] AGÊNCIA BRASIL. Brasil atinge recorde de 215,2 milhões de cabeças de gado, Setembro 2016. Disponível em: <http://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2016-09/brasil-atinge-recorde-de-2152-milhoes-de-cabecas-de-gado>. Acesso em 03 de Setembro de 2016.
- [3] Yangyang Han, Yuqiang Feng, Luning Liu, Jingrui Ju, Zhanfeng Wang. IOT-enabled Quality Management Process Innovation and Analytics in China's Dairy Industry: A Data Flow Modeling Perspective. *A Data Flow Modeling Perspective*, 2015.
- [4] Luigi Atzori, Antonio Iera, and Giacomo Morabito. The internet of things: A survey. *Computer networks*, 54(15):2787–2805, 2010.
- [5] Eleonora Borgia. The Internet of Things vision: Key features, applications and open issues. *Computer Communications*, 54:1–31, 2014.
- [6] Jayavardhana Gubbi, Rajkumar Buyya, Slaven Marusic, and Marimuthu Palaniswami. Internet of things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future generation computer systems*, 29(7):1645–1660, 2013.
- [7] Chiara Buratti, Andrea Conti, Davide Dardari, and Roberto Verdone.

An overview on wireless sensor networks technology and evolution. *Sensors*, 9(9):6869–6896, 2009.

- [8] Ian F Akyildiz, Weilian Su, Yogesh Sankarasubramaniam, and Erdal Cayirci. Wireless sensor networks: a survey. *Computer networks*, 38(4):393–422, 2002.
- [9] Sérgio Oliveira. *Internet das Coisas com ESP8266, Arduino e Raspberry Pi*. NovaTec, 2017.
- [10] Sérgio Aurélio Ferreira SOARES. Redes de sensores sem fio para localização e monitoramento de pequenos ruminantes. Technical report, 2012.
- [11] BovControl – Empoderando a Pecuária. <https://www.bovcontrol.com/>. Acesso em 5 de Setembro de 2017.
- [12] CattleWatch – Taking care of your herd. <http://http://www.cattle-watch.com/>. Acesso em 24 de Novembro de 2017.
- [13] Liberium – Enabling the Smart Agriculture Revolution. <http://www.libelium.com/white-paper-enabling-the-smart-agriculture-revolution/>. Acesso em 04 de Dezembro de 2017.
- [14] PLX-DAQ – Parallax Data Acquisition tool (PLX-DAQ) software add-in for Microsoft Excel . <https://www.parallax.com/downloads/plx-daq/>. Acesso em 29 de Novembro de 2017.
- [15] Roy Want. An introduction to rfid technology. *IEEE pervasive computing*, 5(1):25–33, 2006.
- [16] Da Zhang, Feng Xia, Zhuo Yang, Lin Yao, and Wenhong Zhao. Localization technologies for indoor human tracking. In *Future Information Technology (FutureTech), 2010 5th International Conference on*, pages 1–6. IEEE, 2010.
- [17] Davide Dardari, Pau Closas, and Petar M Djurić. Indoor tracking: Theory, methods, and technologies. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 64(4):1263–1278, 2015.
- [18] TCC – Programas Utilizados. <https://gitlab.com/alvaroshn/tcc-eng-telecom/wikis/home>. Acesso em 05 de Dezembro de 2017.
- [19] Rede Mesh – Explicação. <http://www.techtudo.com.br/noticias/noticia/2016/10/o-que-e-rede-mesh-conheca-tecnologia-que-melhora-o-wi-fi.html>. Acesso em 06 de Dezembro de 2017.
- [20] Gang Wang and Kehu Yang. A new approach to sensor node localization using rss measurements in wireless sensor networks. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 10(5):1389–1395, 2011.