

# Detecção de movimentação atípica de bovinos através da monitoração da intensidade de sinais de radiofrequência

Rafaela T. F. de Freitas, Pedro A. Ribeiro, Pedro R. Chaves, Luiz C. R. Junior, Weber V. B. Soares, Alexandre Tizzei, Raphael M. de Assumpção, Omar C. Branquinho e Paulo Cardieri

**Resumo**— O furto de bovinos é um problema nacional e crescente no Brasil. É sabido que, durante o furto, os animais se movimentam de forma atípica, alterando as condições de propagação no ambiente, impactando a amplitude dos sinais de radiofrequência recebidos no local. Neste artigo, investigamos a viabilidade de utilizar a observação dos sinais de radiofrequência recebidos no ambiente reservado aos animais como método de detecção de furtos. Resultados preliminares de testes de campo, conduzidos em uma fazenda de animais de produção, indicaram que o comportamento de sinais de radiofrequência reflete o comportamento dos animais, apresentando um potencial promissor para a detecção do furto de animais.

**Palavras-Chave**— Indicador da Intensidade do Sinal Recebido, Rede de Sensores Sem Fio, Furto de animais, Abigeato.

**Abstract**— Cattle theft is a national and growing problem in Brazil. It is known that, during theft, animals move atypically, changing the conditions of propagation in the environment, impacting the amplitude of the radiofrequency signals received at the location. In this paper, we investigate the feasibility of using the observation of radiofrequency signals received in the environment as a method of detecting thefts. Preliminary results of field tests, conducted on a cattle farm, indicated that the behavior of radiofrequency signals reflects the behavior of animals, presenting a promising potential for the detection of cattle theft.

**Keywords**— Received Signal Strength Indicator, RSSI, WSN, Wireless Sensor Networks, Cattle theft.

## I. INTRODUÇÃO

O furto de bovino, conhecido como abigeato, é um problema nacional e crescente que tem um impacto significativo na indústria pecuária e na economia rural, pois causa a redução da produtividade, uma vez que os produtores precisam gastar tempo e recursos para repor ou mesmo recuperar os animais furtados. O furto desses animais apresenta também riscos

sanitários, pois animais furtados podem ser vendidos sem o devido controle sanitário e sem a documentação adequada [1].

O aumento desse tipo de furto exige a busca de novos meios de combatê-los, visto que muitas das soluções existentes nem sempre são eficientes. Por exemplo, plataformas como a do SINAL-AGRO [2] foram criadas pelo Governo Federal como forma de combater os crimes ligados ao campo e dar mais segurança ao produtor rural. Porém, essa iniciativa depende do recolhimento de informações através do próprio cidadão. A eficiência deste sistema e a recuperação dos animais furtados depende da velocidade com que o sistema ou mesmo a polícia é acionada. Conseguir detectar o furto o mais breve possível pode ser crucial para o impedimento da ação ou para a recuperação dos animais furtados.

O furto de bovinos acontece, em geral, no período noturno ou em finais de semana, quando há menos pessoas trabalhando com os animais. Sistemas baseados em câmeras de segurança muitas vezes dependem de monitoramento em tempo integral. Cercas elétricas, por outro lado, tem uma eficiência limitada, pois podem ser cortadas. Alarmes sonoros e luminosos podem afugentar os criminosos, porém, por se tratar de locais mais remotos, acabam por depender da vigilância no local, o que não é comum em áreas rurais devido as grandes extensões das fazendas. Portanto, os sistemas de segurança atuais apresentam diversas vulnerabilidades, o que tem motivado a busca de novas soluções, como a proposta neste artigo.

Como é sabido, as ondas de rádio-frequência (RF) sofrem distorções ao percorrer o caminho entre o transmissor e o receptor, causadas pelos efeitos da propagação, como reflexão, difração e bloqueio [3]. Esses efeitos são indesejáveis e combatidos em sistemas de comunicação.

No entanto, os efeitos de propagação em uma onda de RF podem ser úteis em algumas aplicações. Uma vez que o sinal recebido em uma antena receptora é afetado por objetos presentes no caminho entre as antenas transmissora e receptora, a alteração do sinal recebido pode ser usada para detectar a presença ou a movimentação desses objetos. Essa ideia pode ser expandida imaginando-se uma coleção de transmissores e receptores espalhados em uma região, estabelecendo muitos enlaces de comunicação. A avaliação dos sinais recebidos nos receptores permite obter uma fotografia de RF do ambiente coberto pelos enlaces de RF. Essa técnica começou a ser explorada pela comunidade científica no início da década de 2010 para a localização de objetos, recebendo o nome de imageamento rádio tomográfico [4].

Rafaela Thais Ferreira de Freitas (r231472@dac.unicamp.br), Pedro Arrelaro Ribeiro (p206587@dac.unicamp.br), Pedro Rinaldo Chaves (p191678@dac.unicamp.br), Raphael Montali de Assumpção (r075126@dac.unicamp.br), Omar Carvalho Branquinho (professoromarbranquinho@gmail.com) e Paulo Cardieri (cardieri@unicamp.br) são afiliados à FEEC - Universidade Estadual de Campinas; Luiz Carlos Roma Junior (luiz.roma@sp.gov.br) e Weber Vilas Bôas Soares (weber.soares@sp.gov.br) são pesquisadores da APTA/SAA, Instituto de Zootecnia, Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de SP, Nova Odessa-SP; Alexandre Tizzei, (atizzei70@gmail.com) é da ÍntegraTech, Campinas-SP. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, Proc. 313213/2021-6.

Pensando no problema de furto de animais de criação, é conhecido que durante o ato de furto, os animais apresentam comportamento agitado e movimentam-se de forma mais intensa do que em circunstâncias normais [5][6]. Portanto, é esperado que os sinais de radiofrequência no momento do furto exibam variações de amplitude mais significativas do que em situações corriqueiras, devido à movimentação no ambiente [7]. Ou seja, a fotografia de RF no momento do furto será distinta daquela da situação normal. Com base nisso, propomos uma solução de monitoramento que se baseia na observação do comportamento dos sinais de RF transmitidos e recebidos na região próxima à área a ser monitorada. As anomalias no movimento dos animais no local, resultantes de uma tentativa de furto, causarão alterações nesses sinais de RF. A detecção dessas variações servirá como um alerta para uma possível tentativa de furto.

Nesse trabalho são apresentados os resultados de estudos preliminares e de uma prova de conceito que visam avaliar a efetividade do uso de sinais de RF para detectar a movimentação atípica de bovinos em uma área típica. A prova de conceito foi realizada em uma parceria envolvendo a FEEC - UNICAMP, o Instituto de Zootecnia do Estado de São Paulo e a empresa ÍntegraTech. Os resultados preliminares foram encorajadores, pois foi possível identificar a mudança do comportamento dos animais através da observação do desvio padrão de um indicador da intensidade de sinais recebidos em uma coleção de enlaces estabelecidos na área.

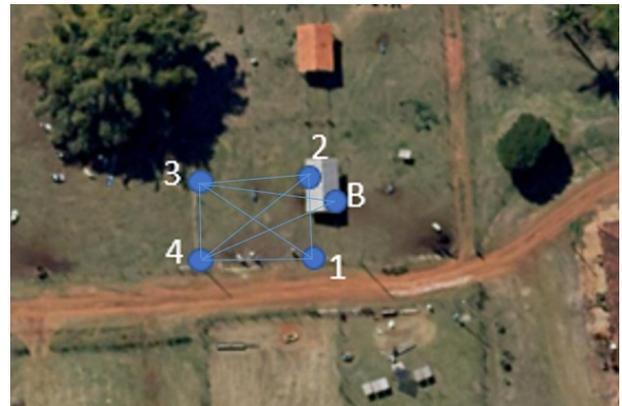
O restante do artigo está dividido da seguinte forma: Seção II apresenta o estado da arte; Seção III discute a ideia do domo radioelétrico; Seção IV trata sobre a implementação da rede sem fio; Seção V apresenta os resultados e Seção VI traz as conclusões e possíveis trabalhos futuros.

## II. TRABALHOS RELACIONADOS

Diversos trabalhos existentes na literatura exploram a ideia usar a mudança no canal de propagação para detectar a presença ou rastrear pessoas, ou objetos. Por exemplo, Bo-oranawong et al. [8] apresentam um sistema de detecção e rastreamento humano em ambiente interno que utiliza a métrica *Received Signal Strength Indication* (RSSI), disponível em muitos protocolos de comunicação sem fio. O sistema foi validado por experimentos com vários padrões de movimento humano em diferentes direções e velocidades. Hoang et al. [9] utilizam também a métrica RSSI de uma rede WiFi para localização em ambientes internos. A estratégia adotada leva em consideração a correlação entre as medições do RSSI em uma trajetória. O algoritmo de localização é baseado em redes neurais recorrentes (RNN - *Recurrent Neural Network*) para processar as amostras de RSSI. Os resultados de experimentos mostram que as técnicas baseadas em RNN superam aquelas baseadas na avaliação estatística das amostras de RSSI. Esses e outros artigos encontrados na literatura mostram, portanto, que a RSSI pode ser usada para caracterizar o ambiente de propagação. Também com o foco na prevenção ou notificação de furto de bovinos, existem diversos trabalhos que buscam conhecer o comportamento, a localização e a velocidade dos animais, mas utilizando colares com GPS (*Global Positioning System*) instalados no pescoço dos animais [6].

## III. O DOMO RADIOELÉTRICO

Para analisar a validade do uso de sinais de RF para detectar movimentação em um piquete de bovinos, uma prova de conceito foi realizada em uma fazenda do Instituto de Zootecnia do Estado de São Paulo, localizada na cidade de Nova Odessa. Para esse fim, foi implementada uma rede sem fio com quatro transceptores e uma estação base, todos instalados na periferia de um piquete, como mostra a foto apresentada na Fig. 1. As posições dos transceptores e da estação rádio base adotadas para esse teste foram escolhidas por facilidade de implantação dos mesmos no piquete. No entanto, a otimização da posição desses dispositivos será objeto da continuação desse trabalho.



**Fig. 1:** Vista aérea do piquete usado na prova de conceito. Os pontos azuis numerados indicam as posições dos transceptores; B indica a posição da estação base, de coleta das amostras de RSSI.

Usando essa estrutura, que foi denominada Domo Radioelétrico, foram coletadas as amostras de RSSI em três cenários representativos da movimentação dos bovinos:

- **Cenário 1:** Piquete vazio.
- **Cenário 2:** Animais de criação pastando livremente no piquete, representando a situação de normalidade.
- **Cenário 3:** Animais de criação andando mais rapidamente no piquete, conduzidos por cuidadores, simulando a movimentação atípica dos animais que ocorre durante o furto.

As amostras de RSSI coletadas nos três cenários foram processadas para extrair suas características estatísticas relacionadas à variação do sinal de RF, para a validar a hipótese de que o nível de movimentação dos animais no piquete está associado ao nível de variação dos sinais de RF no ambiente. Os resultados dessa análise são apresentados na Seção V.

É importante ressaltar que esse sistema de monitoramento ambiental baseado nas variações do sinal de radiofrequência pode ser implementado utilizando uma rede sem fio já existente no ambiente, como uma rede WiFi, eliminando assim a necessidade de uma infraestrutura adicional. Nesses casos, é necessário avaliar a cobertura e a qualidade do sinal. Além disso, esse sistema oferece a vantagem adicional de passar despercebido pelos invasores, em comparação com outros métodos de monitoramento, como cercas eletrificadas, câmeras de vigilância ou sensores de infravermelho.

#### IV. PROJETO E IMPLEMENTAÇÃO DO DOMO RADIOELÉTRICO

O projeto do sistema de coleta de RSSI foi baseada na Metodologia das Três Fases para desenvolvimento de projetos (TpM-Pro, *Three Phase Methodology for Project Development*), proposta por Ferreira et. al [11]. Uma breve apresentação da TpM-Pro e das etapas do projeto são apresentadas a seguir.

##### A. A TpM-Pro

A TpM-Pro, ilustrada na Fig. 2, é uma metodologia de desenvolvimento de soluções IoT, com ciclos de três fases:

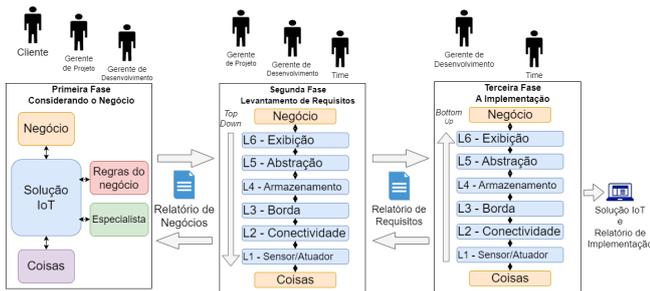


Fig. 2: A TpM-Pro em fases (traduzido).

- Fase 1 - Entendendo o negócio envolvido na solução de IoT, com o auxílio de um especialista no negócio.
- Fase 2 - Levantando os requisitos para atender as necessidades do negócio.
- Fase 3 - Implementação da solução, com a seleção das tecnologias necessárias.

O sistema de coleta de RSSI da prova de conceito pode ser visto como uma solução de IoT em que as grandezas a serem coletadas são as amostras de RSSI dos enlaces, o que torna o uso da TpM-Pro adequado. Nesse sentido, a operação do Domo Radioelétrico tem as seguintes regras de negócio:

- A rede sem fio deve cobrir a área de pastagem (o piquete), similar a um cenário real. O local de teste possuía área de aproximadamente 200 metros quadrados.
- Um transceptor terá a função de base e quatro transceptores sem fio serão os sensores, instalados para prover cobertura da área.
- O intervalo de transmissão de pacotes com os valores de RSSI deve ser pequeno o suficiente para detectar as variações no ambiente. Para a prova de conceito este tempo foi configurado para aproximadamente 5 segundos.

Para a execução da Fase 1 no caso do Domo Radioelétrico, os especialistas foram os pesquisadores do Instituto de Zootecnia, com conhecimento sobre o ambiente e o comportamento dos animais. As coisas nessa solução de IoT são os objetos físicos capazes de mensurar as grandezas que podem ser monitoradas. No caso do Domo Radioelétrico, as coisas são os próprios rádios, responsáveis por manter o enlace rádio funcionando.

As Fases 2 e 3 da TpM-Pro são muito similares, como visto na Fig. 2, porém possuem objetivos diferentes. Na Fase 2 é feito o levantamento dos requisitos da solução, enquanto

na Fase 3 ocorre a escolha das tecnologias que atendem os requisitos de cada componente da solução, seguida da implementação.

##### B. Implementação do Domo Radioelétrico

A Fig. 3 mostra o diagrama esquemático dos enlaces do Domo Radioelétrico, sob o ponto de vista da TpM.

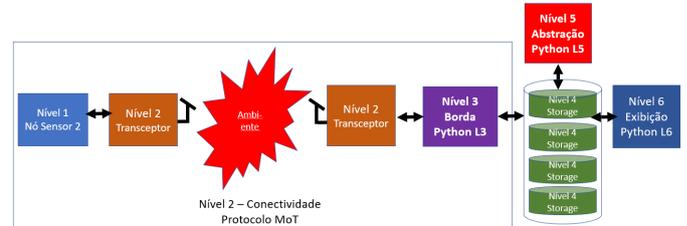


Fig. 3: Enlace da rede sem fio da prova de conceito.

Para a montagem da prova de conceito, foram usados módulos de comunicação sem fio BE990 [12], que conta com um microcontrolador Atmega328 com 32 KB de ROM, 2 KB de RAM e 1 KB de EEPROM, um transceptor CC1101 operando na faixa de 915 MHz, e um amplificador de potência CC1190, que pode oferecer até 50 mW de saída (+17 dBm). O módulo utiliza modulação BFSK (*Binary Frequency-shift keying*), com taxa de dados de RF de até 250 Kbps.

Com os quatro transceptores e a estação base, foram estabelecidos diversos enlaces, na periferia e cruzando o piquete, como mostra a foto apresentada na Fig. 1. Para a coleta dos valores de RSSI dos enlaces, os transceptores transmitiam pacotes ao respectivo receptor do enlace a cada 5 segundos. Ao receberem os pacotes, os receptores coletavam os valores da RSSI e os encaminhavam à base.

#### V. RESULTADOS

Como esperado, o nível de movimentação dos animais no piquete refletiu no nível de variação dos valores de RSSI, como pode ser observado na Fig. 4. Essa figura mostra valores

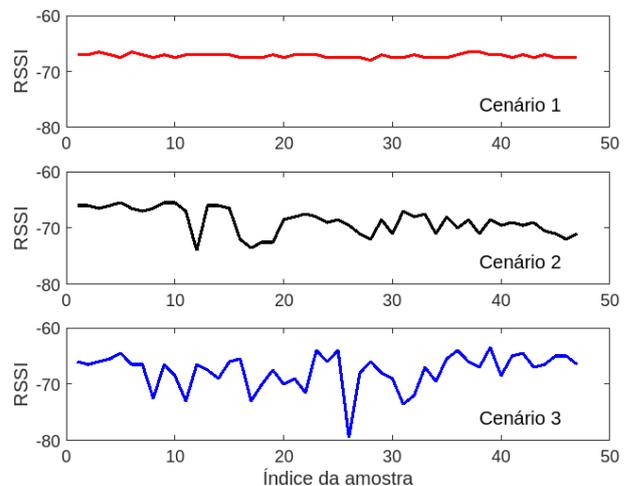


Fig. 4: Valores de RSSI, em dBm, coletados em um enlace durante o período de aproximadamente 4 minutos, para o **Cenário 1**, **Cenário 2** e **Cenário 3**.

de RSSI coletados em um intervalo de aproximadamente 4 minutos em um dos enlaces, nos **Cenário 1**, **Cenário 2** e **Cenário 3**. Comparando os resultados do **Cenário 2** e **Cenário 3**, é possível notar que uma maior movimentação dos animais causa uma maior variação da amplitude do sinal recebido.

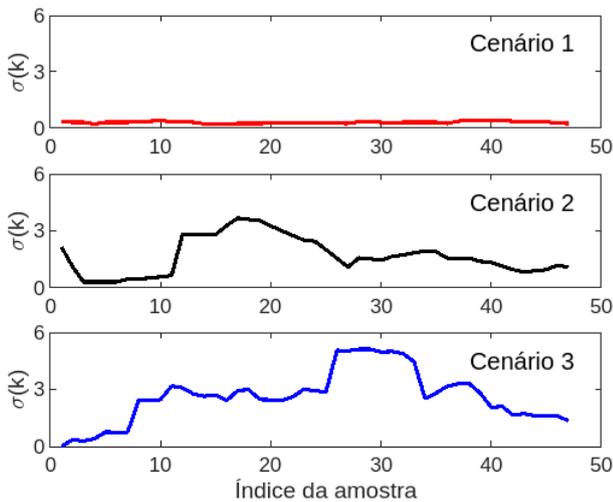
Para caracterizar de forma mais objetiva o ambiente quanto à movimentação dos animais, calcularemos o desvio padrão local das medidas de RSSI, usando uma janela deslizante de  $N$  amostras. Para o cálculo do desvio padrão, abstrairemos que as medidas de RSSI são expressas em dBm, e vamos considerá-las apenas como uma grandeza adimensional cujo nível de variação está associado ao nível de variação da amplitude do sinal recebido. Assim, o desvio padrão local associado à  $k$ -ésima amostra de RSSI do  $i$ -ésimo enlace,  $r_i(k)$ , é calculado como

$$\sigma_i(k) = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=0}^{N-1} [r_i(k-i) - \mu_i(k)]^2}, \quad (1)$$

em que  $\mu_i(k)$  é a média das amostras contidas na janela associada ao  $k$ -ésimo instante, dada por

$$\mu_i(k) = \frac{1}{N} \sum_{j=0}^{N-1} r_i(k-j), \quad (2)$$

e  $N$  é o tamanho da janela. A Fig. 5 mostra os valores de desvio padrão local para as amostras apresentadas na Fig. 4, para tamanho de janela  $N = 8$ . É possível notar com maior

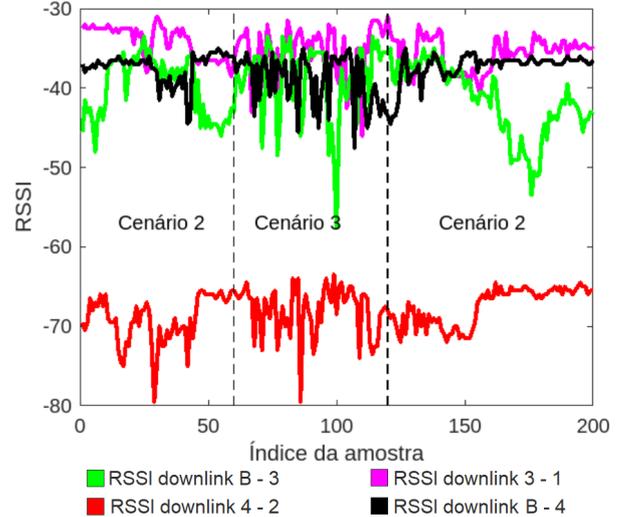


**Fig. 5:** Desvio padrão local das amostras de RSSI mostradas na Fig. 4, para tamanho de janela  $N = 8$ . Observa-se que o **Cenário 3** apresenta uma maior variação das amostras de RSSI.

clareza que o **Cenário 3** resulta em um maior desvio padrão dos valores de RSSI. O tamanho da janela  $N$  tem um papel importante na caracterização do nível de movimentação no ambiente, e a sua seleção será objeto de estudo mais detalhado na continuação desse trabalho.

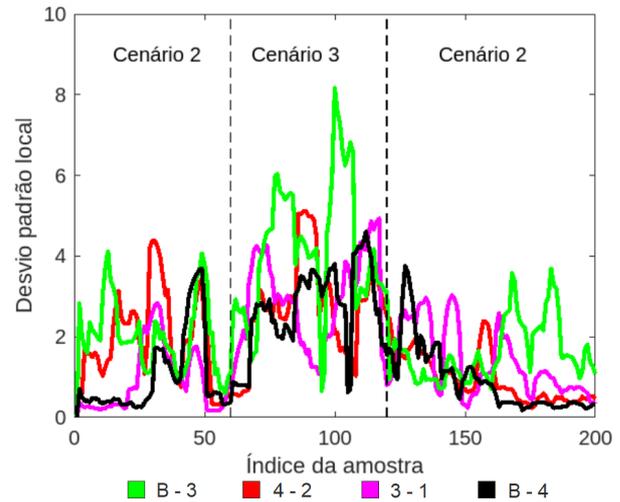
Visando avaliar uma situação mais próxima da situação de furto, mas usando os dados já coletados, fabricamos uma sequência de amostras de RSSI que simula a situação de furto:

para cada enlace, tomamos a sequência de amostras do **Cenário 2** e inserimos a respectiva sequência de amostras extraídas do **Cenário 3**. Exemplos dessas sequências fabricadas são mostrados na Fig. 6.



**Fig. 6:** Valores de RSSI de quatro enlaces para o cenário fabricado de aproximadamente 14 minutos, criado pela combinação de amostras do **Cenário 2** e do **Cenário 3**. O trecho com as amostras do **Cenário 3** representam o momento do furto de bovinos no piquete. A curva do RSSI entre enlace 4 e 2 apresentou uma deterioração maior do sinal devido à configuração transceptor 2.

Os valores de desvio padrão local de cada uma das quatro sequências fabricadas são apresentadas na Fig. 7. Observa-



**Fig. 7:** Desvio padrão local, para janela de  $N = 8$  amostras, das quatro sequências fabricadas da Fig. 6.

se que de fato há uma tendência de maior desvio padrão no intervalo correspondente ao **Cenário 3**.

Em uma operação típica do Domo Radioelétrico para a detecção de tentativa de furto, os valores de desvio padrão (ou outra métrica extraída da amplitude dos sinais) de todos os enlaces seriam observados simultaneamente, para aproveitar a diversidade de informação. As formas como as informações dos enlaces podem ser combinadas será objeto de estudo na

continuação deste trabalho. Mas, como uma primeira tentativa de combinação das informações, criamos a métrica denominada nível de mobilidade  $M(k)$ , definida como a média dos valores de desvio padrão local dos enlaces em cada instante  $k$ , ou seja,

$$M(k) = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L \sigma_i(k), \quad (3)$$

em que  $L$  é o número de enlaces disponíveis. A Fig. 8 apresenta o índice de mobilidade usando os valores de desvio padrão apresentados na Fig. 7. Podemos notar que no

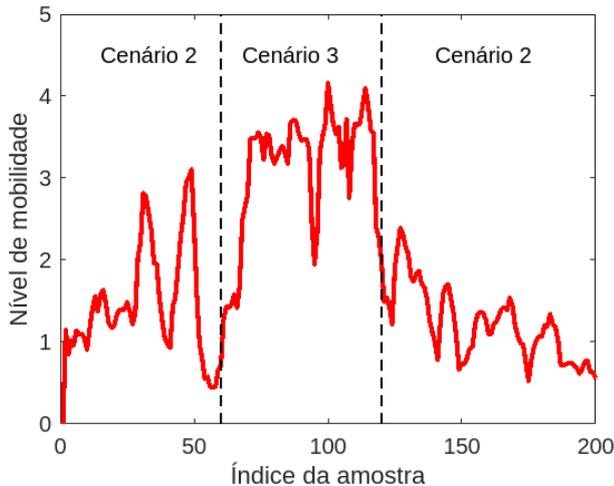


Fig. 8: Índice de mobilidade do piquete.

intervalo correspondente ao **Cenário 3** o valor de  $M(k)$  é consistentemente mais alto do que em outros intervalos. Esse resultado indica que os valores de desvio padrão local dos enlaces trazem conjuntamente informações para identificar a ocorrência do **Cenário 3** e acionar um alarme. Na continuação desse trabalho, pretende-se explorar o uso dessa e de outras métricas, e de outras estratégias de identificação do **Cenário 3**, repetindo-se esse teste em diferentes situações.

## VI. CONCLUSÕES

Esse trabalho apresentou uma prova de conceito para testar a hipótese de que as amplitudes de sinais transmitidos e recebidos em um piquete de bovinos podem ser usadas para caracterizar a movimentação dos animais e, portanto, detectar a ocorrência de furto de bovinos. A análise dos resultados dos testes corroborou a hipótese que a variação do RSSI reflete o comportamento dos animais no piquete, mostrando que a ideia é viável. Como continuação desse trabalho, estão previstas as seguintes etapas: (1) estudar técnicas de processamento das amostras de RSSI mais eficientes e eficazes para detectar o nível de movimentação de animais no piquete, (2) estudar estratégias para posicionar os transmissores e receptores na rede sem fio para melhor capturar as variações do ambiente de propagação e, portanto, detectar a ocorrência do furto de animais.

## REFERÊNCIAS

- [1] P. R. J. Dallmann, R. C. Soares, T. A. de castro, A. Ferraz, A. L. C. Recuero e M. O. Centena, “Ocorrências de abigeato e os riscos de disseminação de zoonoses no estado do Rio Grande do Sul,” UNESP, XXVI Congresso de Iniciação Científica, 2017.
- [2] Sinal Agro. [Online]. Disponível em: <https://www.gov.br/prf/pt-br/servicos/sinalagro>. Acesso em: 23 mar. 2023.
- [3] T. S. Rappaport, “*Wireless Communications: Principles and Practice*,” Prentice Hall PTR, p. 69, 2002.
- [4] J. Wilson e N. Patwari, “*Radio Tomographic Imaging with Wireless Networks*,” IEEE Transactions on Mobile Computing, vol. 9, no. 5, pp. 621–632, 2010.
- [5] O. Dieng, B. Diop, O. Thiare e C. Pham, “*A Study on IoT Solutions for Preventing Cattle Rustling in African Context*,” Proceedings of the Second International Conference on Internet of things, Data and Cloud Computing, 2017.
- [6] P. K. Mashoko Nkwari, S. Rimer, and B. S. Paul, “*Cattle monitoring system using wireless sensor network in order to prevent cattle rustling*,” 2014 IST-Africa Conference Proceedings, Pointe aux Piments, Mauritius, pp. 1-10, 2014.
- [7] A. Booranawong, P. Thammachote, Y. Sasiwat, J. Auyasakul, K. Sengchuai, D. Buranapanichkit, S. Tanthanuch, N. Jindapetch e H. Saito, “*Real-time tracking of a moving target in an indoor corridor of the hospital building using RSSI signals received from two reference nodes*,” Medical and Biological Engineering and Computing, no. 60, pp. 439-458, 2022.
- [8] A. Booranawong, N. Jindapetch and H. Saito, “*A System for Detection and Tracking of Human Movements Using RSSI Signals*,” IEEE Sensors Journal, vol. 18, no. 6, pp. 2531-2544, Março, 2018.
- [9] M. T. Hoang, B. Yuen, X. Dong, T. Lu, R. Westendorp, e K. Reddy, “*Recurrent Neural Networks for Accurate RSSI Indoor Localization*,” IEEE Internet of Things Journal, vol. 6, no. 6, pp. 10 639–10 651, 2019.
- [10] G. Retscher, “*Fundamental Concepts and Evolution of Wi-Fi User Localization: An Overview Based on Different Case Studies*,” Sensors, vol. 20, no. 18, p. 5121, 2020.
- [11] L. C. B. C. Ferreira, O. C. Branquinho, P. R. Chaves, P. Cardieri, F. Fruett, e M. D. Yacoub, “*A PBL-Based Methodology for IoT Teaching*,” IEEE Communications Magazine, vol. 57, no. 11, pp. 20–26, 2019.
- [12] BE990 Datasheet. [Online]. Disponível em: <https://fccid.io/ANATEL/04360-15-08136/Datasheet-BE990/613D77F8-CDD8-430F-9332-C334D1FE4CE1/PDF>. Acesso em: 01 abr. 2023.