

LoRaWAN em Pecuária Inteligente: Análise de Desempenho de Algoritmos de ADR

Gabriel M. de Macedo, Vicente A. de Sousa Jr., Álvaro A. M. de Medeiros, Luiz Q. R. Filho e Jéssika C. da Silva

Abstract—Neste trabalho, é abordada uma importante aplicação para a pecuária inteligente, que é o monitoramento do gado levando em consideração a movimentação sazonal dos animais e o regime de criação. Este artigo explora o uso de uma rede LoRaWAN no monitoramento de animais em regime de pecuária semi-intensiva, que consiste em um momento de confinamento em sedes ou currais (para alimentação com ração) e um período diário de pastagem para complementação alimentar. O trabalho tem como objetivo explorar técnicas de adaptação da taxa de transmissão (ADR) aplicadas ao monitoramento de gado, apresentando uma análise de desempenho da rede em relação ao número de animais monitorados e à extensão da área de pastagem. Diversos algoritmos de ADR foram testados por meio de simulação e analisados à luz da cobertura e da capacidade do sistema de monitoramento.

Palavras-Chave—LoRaWAN, LoRa, ADR, pecuária, ns-3, IoT.

I. INTRODUÇÃO

A Internet das Coisas (IoT) é uma tecnologia que está gerando um grande impacto na sociedade e na economia global. As redes de sensores que compõem a infraestrutura de IoT geram em tempo real uma quantidade massiva de dados, permitindo que as empresas e as organizações extraiam percepções valiosas a partir dessas informações.

Uma importante aplicação da IoT é a *smart farming*, uma abordagem contemporânea e remodelada da agricultura de precisão [1]. Tal abordagem utiliza as tecnologias de IoT, além de inteligência artificial, *big data* e sistemas de informação, para coletar e analisar dados sobre o clima, o solo, as plantas e os animais. Dessa forma, são produzidos conceitos de melhoria para todo o processo de produção agrícola, propondo maximizar a produção, reduzir custos e minimizar impactos ambientais [2], além de garantir a sustentabilidade do setor.

Uma vertente da *smart farming* relacionada à criação de animais é a *smart livestock*, na qual a gestão da produção animal utiliza os conceitos de IoT para coletar e analisar em tempo real dados sobre o desempenho e o comportamento dos animais [3]. No âmbito da pecuária, a conexão de dispositivos remotos em áreas rurais representa um caso de uso desafiador para qualquer tecnologia de comunicação de IoT. Assim, há uma demanda por tecnologias que possibilitem a cobertura de uma extensa área com transceptores de baixo consumo de energia e custo reduzido. Uma dessas tecnologias é o

sistema de comunicações *Long Range* (LoRa) [4], que utiliza modulação de espectro espalhado (*Chirp Spread Spectrum* ou CSS) para permitir que os dispositivos se comuniquem a distâncias de dezenas de quilômetros em áreas rurais. Essa tecnologia permite aumentar a sua área de cobertura ajustando a sensibilidade dos dispositivos por meio do fator de espalhamento (*Spread Factor* ou SF), ao custo de uma eficiência espectral menor [5].

Nesse artigo é analisada uma estratégia de pecuária inteligente para o monitoramento de gado em regime de criação semi-intensiva, que consiste em uma estratégia de criação de rebanhos com períodos de confinamento para suplementação alimentar e momentos de pastagem no campo. Uma rede IoT baseada na tecnologia de rede LoRaWAN é empregada para o monitorado do gado, o que permite a implementação direta em dispositivos com limitações de *hardware* sem um significativo custo computacional. Deste modo, o artigo objetiva avaliar diversas estratégias de adaptação da taxa de dados (*Adaptive Data Rate* ou ADR) para alocação de SF, apresentando um estudo de desempenho do sistema LoRaWAN para monitoramento bovino nos diversos períodos da criação semi-intensiva.

Embora existam diversas soluções propostas para o monitoramento de animais na pecuária, tais como [6]–[9] poucas consideram a capacidade de adaptação dos algoritmos de ADR diante da variação da quantidade e do posicionamento dos dispositivos. Além disso, nenhum estudo aborda os diferentes regimes de criação na pecuária, que podem acrescentar variáveis complexas ao sistema, com o efeito da mobilidade dos dispositivos e sua concentração em uma determinada área. Tal investigação é o objetivo deste trabalho, tendo em vista a importância da pecuária na economia brasileira e o impacto do desempenho das redes IoT neste setor.

II. O REGIME DE CRIAÇÃO SEMI-INTENSIVA

De acordo com o *USDA Foreign Agricultural Service* [10], o Brasil é um dos maiores exportadores de carne bovina no mundo, ocupando a primeira posição com uma participação de cerca de 22% das exportações mundiais, além de ser um dos principais produtores de leite e carne suína. Além dessas atividades, o setor de negócios da pecuária no Brasil também engloba a tecnologia e a inovação, com a utilização de técnicas avançadas de manejo, melhoramento genético e nutrição animal para aumentar a eficiência e a produtividade dos rebanhos.

Por meio de dispositivos eletrônicos, sensores e outras tecnologias, é possível coletar uma grande quantidade de dados sobre o comportamento e a saúde dos animais. Esses dados podem ser analisados e utilizados para melhorar seu manejo, prevenir doenças e aumentar a produção de carne. Por exemplo, sensores de temperatura e umidade podem ser utilizados para

Gabriel Macedo, Vicente Sousa e Jéssika Silva são do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e de Computação (PPgEEC) da UFRN, Natal, RN. E-mails: {gabriel.maia.115, vicente.sousa e jessika.cristina.017}@ufrn.edu.br. Álvaro Medeiros e Luiz Filho são do Departamento de Engenharia Elétrica da UFJF, Juiz de Fora, Luiz Filho é pesquisador na Fundação CPQD e Álvaro é pesquisador na Munster Technological University, Cork, Irlanda. E-mails: {alvaro, luiz.quirino}@engenharia.ufjf.br. Esse estudo foi financiado em parte pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. As simulações fornecidas por esse trabalho foram realizadas com o apoio do Núcleo de Processamento de Alto Desempenho da UFRN (NPAD/UFRN).

monitorar as condições do ambiente em que os animais se encontram [7], garantindo que eles estejam confortáveis e saudáveis. Em [3], é discutido a utilização de sensores de movimento para detectar a presença de animais doentes ou machucados, permitindo que o tratamento seja iniciado o mais cedo possível. Além disso, dispositivos de monitoramento de peso e crescimento podem ser utilizados para acompanhar o desenvolvimento dos animais ao longo do tempo [11].

Os regimes de criação pecuária determinam as práticas e técnicas que serão utilizadas. Cada regime tem características específicas que afetam diretamente a qualidade e a produtividade do rebanho.

Segundo a Embrapa [12], a classificação dos Sistemas de Produção de Gado de Corte no Brasil são agrupados segundo os regimes alimentares dos rebanhos predominantes no País. As seguintes categorias são consideradas como pontos de corte: (i) Sistema extensivo - regime exclusivo de pastagem; (ii) Sistema semi-intensivo - regime com pastagem e suplementação em confinamento; e (ii) Sistema intensivo - regime exclusivo de confinamento.

No sistema semi-intensivo, o gado é normalmente criado em um ambiente controlado, como um celeiro ou abrigo, mas também tem acesso a pastagens em espaços abertos. Nesse modelo, o gado geralmente recebe alimentação suplementar, como feno ou silagem, além de pasto na vegetação natural. O gado também pode receber suplementos adicionais, como vitaminas e minerais, para garantir uma dieta balanceada. Aliando as vantagens dos dois primeiros regimes de criação, o semi-intensivo precisa ser bem executado para estabelecer o compromisso entre produtividade e custo de produção.

A movimentação do gado no pasto pode variar de acordo com diversos fatores, tais como a topografia do terreno, a qualidade e quantidade de alimentos disponíveis, a densidade do rebanho, a presença de cercas ou obstáculos e as condições climáticas. Geralmente, o gado se movimenta por todo o pasto em busca de alimento, água e abrigo. Os animais costumam caminhar em grupos, formando uma linha ou um agrupamento, e podem percorrer distâncias consideráveis para encontrar as melhores pastagens. Quando o pasto é grande e a densidade do rebanho é baixa, o gado tende a se espalhar mais pelo terreno, movimentando-se livremente em busca de alimento. Já em pastos menores e mais densos, os animais podem se aglomerar em determinadas áreas, formando trilhas e pontos de maior concentração (chamadas aqui de *hotspots*).

Quando em regime intensivo, os animais são mantidos em confinamento e não têm acesso a pastagens abertas. Portanto, a movimentação é restrita ao interior das instalações, onde eles são alimentados, abrigados e monitorados. Como o objetivo desse regime é maximizar a produção por unidade de área, os animais são abrigados em espaços pequenos e limitados.

III. MODELAGEM DO SISTEMA LORAWAN

A tecnologia LoRa foi desenvolvida pela empresa francesa Semtech em 2013 e é originalmente uma especificação da camada física (PHY). Os padrões da camada de acesso ao meio (MAC) e os aspectos da arquitetura da rede são definidas pelo padrão LoRaWAN, mantida pela LoRa Alliance [13]. O padrão é *open source* e está descrito em [14].

A taxa de transmissão da camada física LoRa R_b é definida como

$$R_b = \frac{SF}{T_s} = SF \frac{BW}{2^{SF}}, \quad (1)$$

em que SF é o fator de espalhamento que determina a quantidade de bits por símbolo, e pode variar de 7 a 12. Além disso, o fator de espalhamento determina a duração de um símbolo T_s , que é inversamente proporcional à largura de banda BW utilizada. Isso significa que um fator de espalhamento maior resultará em um tempo de símbolo mais longo e, portanto, em uma taxa de dados mais baixa.

A topologia de rede LoRaWAN é baseada em uma arquitetura de rede estrela, na qual vários *End Devices* (EDs) se comunicam com um ou mais *gateways* (GWs). Os GWs se conectam a uma infraestrutura de rede central, Servidor de Rede (NS), e a um servidor de aplicação (*application server*). Os *gateways* recebem os dados dos EDs e os encaminham para a infraestrutura de rede central (NS), que gerencia a rede e realiza funções como autenticação de dispositivos, gerenciamento de segurança e tráfego de dados, que inclui o controle de adaptação da taxa de dados (ADR).

A. Estratégias de ADR

Cada SF requer um valor mínimo de potência recebida para operar corretamente. Antes de atribuir um SF a cada dispositivo, os algoritmos de ADR consideram este valor, chamado de sensibilidade do receptor. Superar a sensibilidade do receptor é equivalente a ter uma Relação Sinal-Ruído (*Signal-to-Noise Ratio* ou SNR) suficiente para uma demodulação com taxa de erro adequada. A Tabela I apresenta a taxa de bit e a sensibilidade do receptor relacionada a cada SF para $BW = 125$ kHz [15].

TABELA I
SENSIBILIDADE E TAXA DE BIT PARA CADA SF [16].

SF	Sensibilidade [dBm]	Taxa de transmissão [kbps]
7	-123	6,835
8	-126	3,906
9	-129	2,197
10	-132	1,220
11	-134,5	0,671
12	-137	0,366

Quanto maior a quantidade de EDs operando no mesmo SF, maior é a probabilidade de interferência co-canal e, conseqüentemente, maior é a taxa de erro de pacotes. Contudo, considerando que dois EDs operando em diferentes SFs praticamente não interferem entre si, EDs podem ser alocados para um SF diferente sem a restrição determinada pela sensibilidade. O objetivo é aumentar a eficiência de toda a rede. Diferente do ADR padrão, algoritmos apresentados neste trabalho consideram este fator [17]. Detalhes sobre o procedimento de ADR padrão podem ser encontrados em [14].

Os algoritmos analisados neste trabalho, originalmente apresentados em [17], são de simples implementação e podem ser aplicados a dispositivos com poucos recursos computacionais. Para isso, é definido o vetor de atribuição $\mathbf{a} = \{a_7, a_8, \dots, a_{12}\}$, em que a_i define a fração da quantidade total de EDs que são alocados com SF = i , isto é, a_7 para SF = 7 e assim por diante. Desta forma, tem-se que $\sum_{i=7}^{12} a_i = 1$. Os diferentes algoritmos avaliados, nomeados de I a IX, são:

- **Fixo em SF 7(I)** - Todos os EDs usam o SF mais baixo (taxa de dados mais alta). Neste caso, $a_7 = 1$ e $a_i = 0 \forall i \neq 7$.
- **Fixo em SF 12 (II)** - Todos os EDs usam o SF mais alto (taxa de dados mais baixa, expectativa de maior cobertura). Neste caso, $a_{12} = 1$ e $a_i = 0 \forall i \neq 12$.

- **Igualmente dividido (III)** - Os N EDs na rede são classificados por potência recebida em ordem crescente e em seguida igualmente divididos em seis grupos de forma que o primeiro grupo seja alocado para SF 7, o segundo para SF 8 e assim por diante. Neste caso, $a_i = \lfloor N/6 \rfloor$.
- **Arbitrariamente dividido** - Os N EDs são classificados e divididos exatamente como o método anterior, mas a quantidade de EDs por grupo é uma fração arbitrária dada pelo vetor de atribuição \mathbf{a} . Essa estratégia é avaliada considerando dois vetores de atribuição:
 - **Aumento de capacidade (IV)** - O algoritmo aloca EDs para cada grupo SF de forma que mais dispositivos sejam alocados em menores valores de SF. Para este artigo, utilizou-se o vetor $\mathbf{a} = \{0, 6; 0, 2; 0, 05; 0, 05; 0, 05; 0, 05\}$;
 - **Ampliação da cobertura (V)** - O algoritmo aloca EDs para cada grupo SF de forma que mais dispositivos são alocados em maiores valores de SF, isto é, $\mathbf{a} = \{0, 05; 0, 05; 0, 05; 0, 05; 0, 2; 0, 6\}$.
- **Baseado na Sensibilidade (VI)** - O ED tem o menor SF possível, de forma que sua potência recebida é maior do que a sensibilidade para aquele SF. Esta política corresponde ao ADR definido no padrão LoRaWAN.
- **Arbitrariamente Dividido Baseado na Sensibilidade** - Os EDs são alocados do mesmo modo que no método dividido arbitrariamente, mas respeitando a regra de sensibilidade do método VI. Essa estratégia possibilita uma investigação interessante: conforme aumenta a alocação de EDs em SFs maiores, aumenta também a cobertura da rede e pode também reduzir a interferência em SFs menores, o que, por outro lado, também pode aumentar a capacidade. Essa estratégia é avaliada usando dois vetores de atribuição.
 - **Aumento de capacidade (VII)** - O algoritmo usa $\mathbf{a} = \{0, 6; 0, 2; 0, 05; 0, 05; 0, 05; 0, 05\}$, mas respeitando a regra de sensibilidade (Algoritmo (VI)).
 - **Aumento da Cobertura (VIII)** - O algoritmo usa $\mathbf{a} = \{0, 05; 0, 05; 0, 05; 0, 05; 0, 2; 0, 6\}$, mas respeitando a regra da sensibilidade (Algoritmo (VI)).
- **Distribuído aleatoriamente (IX)** - Cada ED escolhe um SF aleatoriamente (com a mesma probabilidade) entre os seis SFs possíveis.

Os Algoritmos I, II, III, VI e IX são tradicionais em redes LoRaWAN. Os Algoritmos IV, V, VII e VIII são propostas a fim de obter uma designação de SF flexível e adaptável, mantendo a simplicidade do algoritmo.

IV. MODELAGEM DO SISTEMA

Este trabalho utiliza simulação como metodologia de prototipagem do sistema. Baseado no estudo apresentado em [18], o simulador ns-3 em sua versão 3.29 é a ferramenta de simulação utilizada. Dentre as implementações para o protocolo LoRa no ns-3, escolheu-se o módulo desenvolvido por D. Magrin [19].

O cenário de simulação aborda o regime de criação semi-intensiva anteriormente descrito na Seção II, buscando explorar a dinâmica da variação de posicionamento do rebanho de acordo com a sazonalidade diária da criação. Uma campanha de simulação é realizada separadamente para cada situação: (i) quando os animais estão confinados na sede, e (ii) quando estão pastando no campo com variação aleatória do

seu posicionamento, sempre agrupados em pequenos rebanhos quando no pasto e dispostos ao longo de toda a fazenda.

A Tabela II apresenta os principais parâmetros utilizados na simulação. A média de criação de rebanhos no Brasil entre 2014 e 2015 era de 0,97 unidades animais por hectare (UA/ha) [20]. Contudo, o potencial médio de intensificação é de 2,63 UA/ha. O maior potencial de intensificação foi de 3,62 UA/ha para a região sul do país. É importante destacar que a demanda por práticas sustentáveis na agricultura, aliada ao potencial das *smart-farmings*, pode impulsionar a elevação desses valores. Sob condições adequadas de tratamento de solo e pastagens, é possível alcançar cerca de 10 UA/ha [21].

Em [22], a aplicação utiliza envios de oito tipos de medições meteorológicas em um único pacote LoRa de 16 bytes. Para o cenário em questão, optou-se por um *payload* de 20 bytes. Essa capacidade é adequada para o envio das informações destacadas na Seção II.

O intervalo de envio de pacotes em uma aplicação LoRa pode variar de acordo com a necessidade e o objetivo da aplicação. Algumas aplicações enviam informação entre 10-20 minutos [23], outras utilizam algumas horas [24], enquanto outras permanecem adormecidas a maior parte do tempo [25]. Para este cenário, foi adotado um intervalo de 30 minutos.

TABELA II
PARÂMETROS DAS SIMULAÇÕES.

Parâmetro	Valor
Número de Gateways	1
Tamanho do Pacote	20 bytes
Intervalo Entre Pacotes	30 minutos
Enlace	Uplink, 125 kHz de banda
Modelo de Propagação	Log-distance
Valores <i>Path loss</i>	$d_0=1$ m; $PL(d_0)=7.7$; $n=3.7$
Potência de Transmissão	14 dBm

A fazenda alvo para esse estudo baseou-se na Fazenda Conforto [26], que possui uma capacidade aproximada de 12 mil hectares e um confinamento com capacidade estática de 30.300 animais, o que a torna uma das maiores fazendas de gado de corte do Brasil, com uma produtividade de aproximadamente 100 arrobas/ha por ano.

Os bovinos são animais gregários, isto é, vivem em grupos, e apresentam comportamentos sociais muito característicos. Eles apresentam um padrão de tolerância mútua, sem hábitos territoriais. Isso é tão relevante no manejo do gado que animais que vivem isolados dos grupos sofrem com estresse [27]. O tamanho desses grupos não costuma ser caracterizado por espaço, mas sim pela quantidade de animais.

A área da fazenda é modelada por uma área circular com 6 km de raio, ou cerca de 11310 ha. A rede possui um único *gateway* LoRa localizado no centro do círculo, onde também está a sede de confinamento. Seguindo o potencial de intensificação da estocagem de gado em regime de criação no Brasil, o cenário implementado define uma carga animal que varia entre 1000, 5000, 10000 e 30000 animais, representando um potencial de até 2,66 UA/ha próximo da média brasileira. O objetivo é explorar tanto o cenário de criação pouco intensificado, quanto o cenário mais intenso, a fim de avaliar a capacidade de monitoramento da rede LoRAWAN.

De acordo com as recomendações de densidade animal em currais de confinamento descritas por [28], o tamanho da sede de confinamento deve ser de no mínimo 4 m² por animal, em

currais totalmente cobertos, e entre 5 a 100 m² para currais com diferentes condições de piso e níveis de precipitação da região. Com o intuito de avaliar a capacidade da rede, adotou-se o valor da área por animal A_n de 5 m² para o cálculo do tamanho da sede. Portanto, a área da sede de confinamento é $A_s = N_v \cdot A_n$, em que N_v é o número de animais monitorados. O raio da sede de confinamento é dado por $R_s = \sqrt{A_s/\pi}$.

O tamanho dos *hotspots* quando os animais pastejam não é exato, mas rebanhos com 150 vacas são bastante comuns [27], enquanto grupos com 200 vacas ou mais podem sofrer com a incidência de laminite [29], uma patologia que afeta os cascos dos animais. Assim, para caracterizar a área dos *hotspots*, define-se um raio de 15 m por grupo para acomodar uma capacidade próxima de 150 animais. Logo, o número de animais por *hotspot* é calculado como $N_h = A_h/A_n$, em que $A_h = \pi \cdot 15^2 \approx 706$ m². Os *hotspots* são distribuídos aleatoriamente na área de fazenda.

V. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados dos diferentes momentos da criação semi-intensiva são coletados separadamente. As métricas analisadas para cada algoritmo são: (i) a taxa de informação monitorada com sucesso (PDR - *Packet Delivery Ratio*); (ii) a taxa de pacotes perdidos devido à potência recebida estar menor que a sensibilidade do receptor, ou a falha no monitoramento por perda de sinal; e (iii) a taxa útil no *gateway*, ou (*throughput*) da rede.

A. Momento de Confinamento

Este cenário de simulação representa o momento diário que os animais ficam confinados na sede durante 4 horas. Os resultados obtidos são apresentados na Figura 1.

Na Figura 1-a, é possível observar o decaimento da informação monitorada com sucesso a partir do aumento no número dos bois. Isso acontece porque é utilizado um único *gateway* para o cenário, que passa a receber uma carga elevada de pacotes. Tais resultados evidenciam que o desempenho dos melhores algoritmos é notável, alcançando aproximadamente 70% de sucesso em um cenário denso, com um número grande de bois.

Na Figura 1-b, é possível observar que não houveram falhas no monitoramento por perda de sinal, o que é esperado para este cenário, uma vez que os bois estão concentrados próximos ao *gateway*.

Na Figura 1-c, a taxa útil no *gateway* é apresentada em função da quantidade de bois monitorados (número de EDs). É importante destacar que a taxa útil é uma variável importante para o dimensionamento da rede e, a partir desse resultado, é possível determinar a quantidade de *gateways* que seriam necessários para atender aos requisitos do cenário e a taxa do enlace (*backhaul*) de conexão entre o GW e o NS.

Os Algoritmos VII e IV apresentaram os melhores resultados, entregando a maior taxa útil quando os dispositivos estão mais próximos do GW. Ambas são propostas desenvolvidas visando capacidade de transmissão, com uma diferença no respeito da regra de sensibilidade para o Algoritmo VII. O Algoritmo I, que fixa os dispositivos com SF = 7, operou de acordo com o esperado, com taxa útil alta. O Algoritmo VI teve um resultado semelhante ao Algoritmo I, já que o critério baseado em sensibilidade tende a alocar SFs baixos para dispositivos mais próximos ao *gateway*, o que

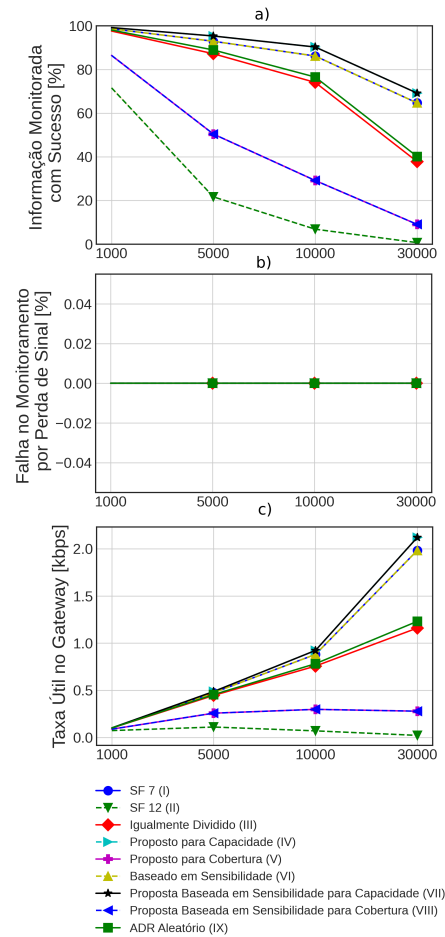


Fig. 1. Momento de confinamento: Informação Monitorada com Sucesso, Falha no Monitoramento por Perda de Sinal e Taxa Útil no *Gateway*.

sugere que ele operou também com os SFs fixados em 7 ou SF mais próximo.

Também é possível constatar que, para situações com menor número de bois, isto é, com rede LoRaWAN menos densa, algumas propostas oferecem soluções eficazes, tais como os Algoritmos III e IX. Isso ocorre porque dividir os SFs uniformemente entre os dispositivos pode reduzir a interferência co-canal. Sob a perspectiva da proximidade do *gateway*, esses algoritmos conseguem alcançar uma taxa útil próxima àquela obtida pelos melhores algoritmos.

B. Momento de Desconfinamento

Os resultados apresentados na Figura 2 representam o momento da criação no pasto, quando o gado se posiciona ao longo da extensão da fazenda.

O resultado apresentado na Figura 2-a tem o mesmo comportamento que no caso confinado, diminuindo a taxa de informação monitorada com o aumento no número de bois na rede. Além de melhor taxa útil, o Algoritmo IV (capacidade) se destaca também com a maior taxa de informação monitorada, seguido do Algoritmo VI (sensibilidade). Ao aliar os critérios de capacidade e sensibilidade, o Algoritmo VII se tornou mais conservador em termos de informação monitorada, alcançando o terceiro lugar em desempenho.

Vale destacar que o desempenho do Algoritmo I foi comprometido por perda de sinal, como é possível verificar na Figura 2-b. Como esperado, os EDs instalados nos bois mais distantes da sede da fazenda sofrem maior perda de pacotes se o Algoritmo I for utilizado, pois operam com SF 7 a uma distância considerável do *gateway*.

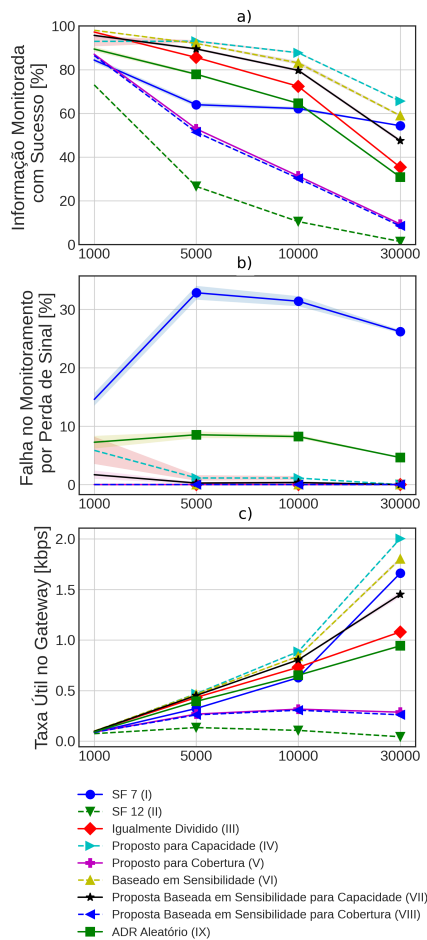


Fig. 2. Momento de desconfinamento: informação Monitorada com Sucesso, Falha no Monitoramento por Perda de Sinal e Taxa Útil no Gateway.

É possível verificar na Figura 2-c que o algoritmo proposto para capacidade (Algoritmo IV) obteve melhor desempenho em relação a taxa útil, superando os Algoritmos VI e I.

VI. CONCLUSÃO

Este trabalho apresenta uma investigação sobre monitoramento de gado em uma criação semi-intensiva usando uma rede LoRaWAN. Ele contribui na modelagem de uma fazenda em termos de tamanho da área de pastagem, de tamanho da sede de confinamento, número e disposição dos animais e taxa oferecida de um sistema de monitoramento usando redes sem fio, aspectos não encontrados na literatura.

Ao analisar as estratégias de ADR testadas, verificou-se que diferentes algoritmos apresentam melhor desempenho para as fases de confinamento e de pastagem da criação semi-intensiva. Essa conclusão aponta que um ajuste dinâmico do algoritmo de ADR pode resultar em melhor desempenho.

Esta investigação evoluirá para uma proposta de ADR baseada em aprendizado de máquina para ajustar o vetor a em tempo de execução, personalizando o ADR para cada situação de confinamento e mobilidade de gado. Trabalhos futuros também incluem uma avaliação paramétrica mais ampla da fazenda e do sistema de monitoramento, bem como a modelagem dos momentos de confinamento e pastagem integrados com a mobilidade dos bois.

REFERÊNCIAS

[1] N. Zhang, M. Wang, and N. Wang, “Precision agriculture—a worldwide overview,” *Computers and electronics in agriculture*, 2002.

[2] S. Atalla, S. Tarapiah *et al.*, “IoT-Enabled Precision Agriculture: Developing an Ecosystem for Optimized Crop Management,” *Information*, vol. 14, no. 4, p. 205, 2023.

[3] R. Antanaitis, V. Žilaitis *et al.*, “Changes in cow activity, milk yield, and milk conductivity before clinical diagnosis of ketosis, and acidosis,” *Vet. Med. Zoot.*, vol. 70, pp. 3–9, 2015.

[4] M. Bor, J. E. Vidler, and U. Roedig, “LoRa for the Internet of Things,” *Junction Publishing*, 2016.

[5] C. Goursaud and J.-M. Gorce, “Dedicated networks for IoT: PHY/MAC state of the art and challenges,” *EAI endorsed transactions on IoT*, 2015.

[6] R. Casas, A. Hermosa *et al.*, “Real-time extensive livestock monitoring using LPWAN smart wearable and infrastructure,” *MDPI Applied Sciences*, 2021.

[7] C. Joshitha, P. Kanakaraja *et al.*, “LoRaWAN based cattle monitoring smart system,” in *7th International Conference on Electrical Energy Systems (ICEES)*. IEEE, 2021.

[8] V. K. Neitzel and J. Kniess, “Implementation and Performance Evaluation of LoRaWAN in Real Environment of Agriculture,” in *XLVIII Latin American Computer Conference (CLEI)*. IEEE, 2022.

[9] F. M. Ortiz, T. Almeida *et al.*, “Caracterização de desempenho de uma rede LoRa em ambientes urbanos: Simulação vs. prática,” in *Anais do III Workshop de Computação Urbana*. SBC, 2019.

[10] USDA Foreign Agricultural Service, “Livestock and Poultry: World Markets and Trade,” USDA Foreign Agricultural Service - Livestock and Poultry: World Markets and Trade, 2022, accessed on: April 8th, 2023. [Online]. Available: https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/livestock_poultry.pdf

[11] K. Noinan, S. Wicha, and R. Chairicharoen, “The IoT-based weighing system for growth monitoring and evaluation of fattening process in beef cattle farm,” in *ECTI DAMT & NCON*. IEEE, 2022.

[12] I. M. Cezar, H. P. de Queiroz *et al.*, *Sistemas de produção de gado de corte no Brasil: uma descrição com ênfase no regime alimentar e no abate*. Campo Grande, MS: Embrapa Gado de Corte, 2005.

[13] The Lora Alliance, “About LoRa Alliance,” <https://lora-alliance.org/about-lora-alliance/>, 2021, acesso em: 12 de abril de 2023.

[14] —. (2017) LoRaWAN Specification v1.1. The Lora Alliance. Acesso em: 12 de abril de 2023. [Online]. Available: <https://lora-alliance.org/resource-hub/lorawan-specification-v1-1/>

[15] S. Corporation, “AN1200.22 - LoRa modulation basics,” [Online]. Available: <https://www.semtech.com/uploads/documents/an1200.22.pdf>, 2015, [Accessed: Apr. 14, 2023].

[16] D. Magrin, “Network level performances of a LoRa system,” 2016.

[17] L. Filho, A. Medeiros *et al.*, “Spreading factor assignment strategy for coverage and capacity flexible tradeoff,” *Journal of Communication and Information Systems*, 2022.

[18] J. C. da Silva, D. d. L. Flor *et al.*, “A survey of LoRaWAN simulation tools in ns-3,” *Journal of Communication and Information Systems*, 2021.

[19] Signet Lab, “LoRaWAN ns-3 module,” <https://github.com/signetlabdei/lorawan>, acesso em: 17 abr. 2023.

[20] A. E. Arantes, V. R. d. M. Couto *et al.*, “Livestock intensification potential in Brazil based on agricultural census and satellite data analysis,” *Pesquisa Agropecuária Brasileira, SciELO Brasil*, 2018.

[21] C. Costa, P. R. d. L. Meirelles *et al.*, “Evolução das pastagens cultivadas e do efetivo bovino no Brasil,” *Veterinária e Zootecnia*, 2008.

[22] D. Sacaleanu and I. Kiss, “Monitoring walnut orchards with LoRa technology,” in *IEEE 24th International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME)*. IEEE, 2018.

[23] H. Zhang, L. He *et al.*, “Internet of things (IoT)-based precision irrigation with LoRaWAN technology applied to high tunnel vegetable production,” in *2020 ASABE Annual International Virtual Meeting*. American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2020.

[24] N. Silva, J. Mendes *et al.*, “Low-cost IoT LoRa® solutions for precision agriculture monitoring practices,” in *Progress in Artificial Intelligence: 19th EPIA Conference on Artificial Intelligence*. Springer, 2019.

[25] I. Froiz-Míguez, P. Lopez-Iturri *et al.*, “Design, implementation, and empirical validation of an IoT smart irrigation system for fog computing applications based on Lora and Lorawan sensor nodes,” *Sensors*, 2020.

[26] “Fazenda conforto,” <http://www.fazendaconforto.com.br/>, acessado em 20 Apr. 2023.

[27] M. Paranhos da Costa and E. Silva, “Aspectos básicos do comportamento social de bovinos,” *Revista Brasileira de Reprodução Animal*, 2007.

[28] Instituto de Estudos Pecuários, “Manual de instalações para confinamento de bovinos,” http://docente.ifsc.edu.br/roberto.komatsu/MaterialDidatico/Agroneg%3%b3cio_4Mod_2017_1_PJ12/manual-instalacoes-confinamento_Branco_IEPEC.pdf, 2017, acesso em: 17 abr. 2023.

[29] P. Hemsworth, J. Barnett *et al.*, “The welfare of extensively managed dairy cattle: A review,” *Applied Animal Behaviour Science*, 1995.