



**Dispositivo IoT de rastreamento e monitoramento do  
comportamento bovino em ambiente externo de baixo custo  
e longo alcance**

Journal:	<i>Engenharia Agrícola</i>
Manuscript ID	EAGRI-2021-0094
Manuscript Type:	Original Article
Keyword:	Agricultura 4.0, Internet das Coisas, Computação na Borda, Rede LoRa, Comportamento ingestivo

SCHOLARONE™  
Manuscripts

# Dispositivo IoT de rastreamento e monitoramento do comportamento bovino em ambiente externo de baixo custo e longo alcance

## Resumo:

A agroindústria do leite no Brasil vem se tornando um relevante setor da economia do país no qual ainda prevalece o modelo de exploração extensivo com desenvolvimento tecnológico considerado mediano e que ainda necessita de novas tecnologias. Assim, este estudo teve como objetivo verificar se é possível classificar o comportamento ingestivo de um bovino por meio de um algoritmo baseado em árvore de decisão executado em um dispositivo IoT embarcado no animal. Foram aplicados os conceitos da agricultura 4.0, internet das coisas (IoT), computação na borda e tecnologias de rede de transmissão de longo alcance (LoRa) e utilizados sensores de movimento (IMU) e GPS para capturar os dados utilizado no algoritmo de classificação. Nos testes realizados com animais foi verificado que o algoritmo de classificação utilizado é capaz de identificar os comportamentos ingestivos pastejar, ócio e caminhar com acurácia semelhantes aos verificados em outros trabalhos. Também se verificou que o dispositivo IoT tem capacidade de transmitir as informações a uma distância superiores a 273 metros, valor superior a outros sistemas de monitoramentos atualmente disponíveis. Os resultados obtidos nos permitem afirmar que é possível classificar o comportamento ingestivo do bovino utilizando computação na borda, assim, é possível o uso de tecnologia de rede com banda reduzida.

**Palavras chaves:** Agricultura 4.0, Internet das Coisas, Computação na Borda, Rede LoRa, Comportamento ingestivo de bovinos leiteiros, Bem-estar animal

## 1. Introdução

## Edição Especial – Special Edition

A produção de leite no Brasil vem aumentando durante as últimas cinco décadas de forma constante. A evolução nos números de produção e produtividade alcançada deve-se principalmente, a profissionalização da gestão, o melhoramento genético dos animais e uma maior adoção de novas tecnologias (IBGE, 2019).

Nas últimas quatro décadas foi observado uma crescente incorporação de novas tecnologias na atividade leiteira no Brasil, na qual ainda predomina o modelo de exploração de média tecnologia com um rebanho criado predominantemente a pasto. O uso de novas tecnologias, como o uso de QR Code (*Quick Response Code*) para implementar um sistema de identificação, permitiu um controle mais efetivo dos processos que influenciou diretamente na qualidade da produção e aumentando a produtividade (Silvério et al. 2019).

## Frases antagônicas

O uso de dispositivos IoT embarcado com a capacidade de coleta, armazenamento temporário e transmissão dos dados que possam ser usados para inferir informações individualizada e em tempo real sobre o bem-estar de cada animal do rebanho irá proporcionar uma melhora na gestão do negócio, identificando com certa antecedência problemas a saúde do animal e propondo soluções adequadas antes que a sua produção seja afetada.

O sistema produtivo extensivo baseado em pasto que, predominante no Brasil, é um ambiente desafiador para o monitoramento do comportamento ingestivo de bovinos, em tempo real, devido as grandes áreas no qual o animal passa a maior parte do dia e que normalmente ficam a longas distâncias das principais infraestruturas tecnológicas das fazendas. Para a identificação do comportamento ingestivos e transmissão dos dados coletados, várias tecnologias foram propostas em estudos recentes (Vilela et al., 2017).

Um sistema de monitoramento baseado em IoT foi projetado e implementado por Wang et al. (2019) em seu trabalho, no qual foi utilizado um acelerômetro triaxial e um módulo de rádio sem fio portátil para transmitir os dados coletados. Sistemas semelhantes também foram publicados descritos por Pratama et al. (2019) e Unold et al. (2020) nos quais foram utilizados dados de uma unidade de

## Edição Especial – Special Edition

medição inercia na classificação do comportamento ingestivo e sistemas de transmissão baseado nas tecnologias IEEE 802.11 b/g/n (WiFi) e Bluetooth Low Energy (BLE) V.5 respectivamente. A tecnologia de monitoramento do comportamento baseada em visão computacional foi proposta por Sumi et al. (2019) no seu trabalho que tinha o objetivo de identificar vacas em pré-partos utilizando imagens de câmera de profundidade 3D. Outra tecnologia também utilizada no monitoramento do comportamento de bovinos é baseada nos dados coletado de GPS como proposto por Souza et al. (2019) no qual são geradas informações para avaliar os deslocamentos dos animais e a seleção de áreas de pastagem.

## Comparação com outros trabalhos

O objetivo desta pesquisa foi desenvolver um dispositivo IoT de monitoramento e identificação automatizado do comportamento ingestivo de bovinos em ambiente externo a longa distância em tempo real e verificar a precisão do algoritmo de identificação do comportamento ingestivo proposto. O dispositivo IoT proposto foi embarcado no animal por meio de um cabresto e conta com a capacidade de enviar informações do comportamento ingestivo por meio de rádios para um gateway, também de baixo custo, baseados na tecnologia de rede de longo alcance LoRa (Lavric, 2019).

O dispositivo também utiliza um microcontrolador com capacidade de identificar o comportamento do bovino em tempo real por meio dos dados gerados em uma unidade de medida inercial (UMI) que são classificados em um algoritmo que implementa uma árvore de decisão. A precisão do algoritmo de classificação foi avaliada em bovinos submetidos ao sistema de produção extensivo no qual permanece a maior parte do dia no pasto.

extensivo, no qual o bovino permanece a maior ...

## 2. Material e Métodos

O trabalho foi realizado com os animais pertencentes ao rebanho bovino do Laboratório de Bovinocultura do setor de Bovinocultura de Leite do Departamento de Zootecnia (DZ) ligado ao Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Campus II localizado no município de Areia-PB que fica na microrregião do brejo paraibano a 6° 58'12" de latitude sul e 35° 42'15" de longitude oeste com altitude de 573,0 m, clima quente e úmido do tipo As' segundo a classificação de Köppen com chuvas no período entre outono e inverno com precipitação anual entre 800,0 a 1600,0 mm. Os experimentos foram realizados iniciados em setembro de 2019 e perduraram até o mês de março de 2020.

O animal utilizado no experimento era da linhagem Girolando fêmea com idade de 108 meses e aproximadamente 380 kg de peso foi escolhido de forma aleatória dentre os vários animais do rebanho e após a instalação do cabresto equipado com o dispositivo IoT o mesmo foi liberado para voltar a sua rotina normal no pasto.

Separar as frases

O dispositivo IoT desenvolvido neste trabalho faz parte de uma plataforma de rastreamento e monitoramento para bovinos a pasto, de baixo custo, com o objetivo de avaliar o nível de bem-estar do bovino por meio de informações sobre o comportamento ingestivo do animal (Figura 1). Este dispositivo é baseado em uma placa de desenvolvimento TTGO T-Beam que foi construído em torno de um chip ESP32 (Espressif Systems, Xangai, China), um microcontrolador de núcleo duplo de 32 bits da família Tensilica LX6 rodando a 240 MHz e integrado com módulos de rádio LoRa SX1276 (Semtech Corporation, Camarillo, Califórnia, EUA) e GPS NEO-6M (U-blox Holding AG, Thalwil, canton, Zürich).

O módulo GPS integrado a placa TTGO T-Beam emprega um receptor de 50 canais de alto desempenho da família NEO-6 de baixo consumo e custo reduzido com tempo de primeira correção (TTFF) abaixo de 1 segundo. Seu design e tecnologias proporcionaram um excelente desempenho de navegação em ambientes severos. O módulo gera dados sobre a localização baseados na latitude e longitude, data, hora e velocidade de deslocamento que são enviados para o microcontrolador por meio de uma interface UART a uma taxa de 1 amostra por segundo.

.. reduzido, com tempo ...

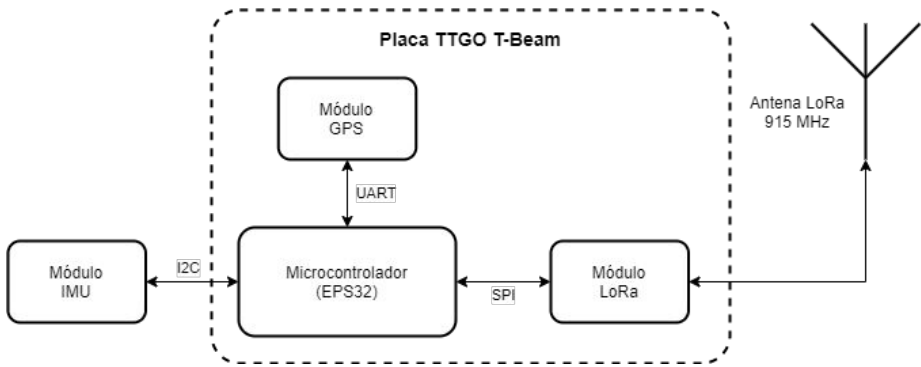


Figura 1 Diagrama em bloco do dispositivo IoT

Já o módulo de rádio LoRa também integrado a placa TTGO T-Beam é baseado no transceptor de baixa potência e longo alcance SX1276 que conta com um amplificador de potência de +20 dBm e um receptor com sensibilidade acima de -148 dBm operando na frequência de 915 MHz com custo reduzido, tornando-o ideal para aplicações que requerem longo alcance, imunidade a interferências e baixo consumo de energia. A conexão lógica e elétrica entre o módulo e o microcontrolador utiliza uma interface e protocolo SPI (Figura 2).

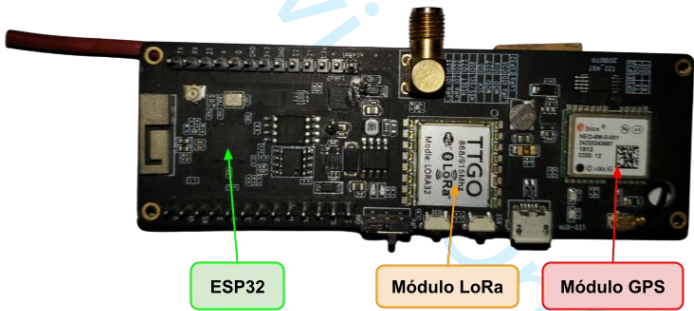


Figura 2 Placa de desenvolvimento TTGO T-Beam

Uma unidade de medida inercial (IMU) de 9 eixos baseado no chip MPU-9250 MotionTracking (InvenSense Inc., San José, Califórnia, EUA) que combina dois chips: o MPU-6500 que contém um acelerômetro de 3 eixo, um giroscópio de 3 eixo e um Digital Motion Processor (DMP) responsável por processar algoritmos complexos de MotionFusion; e o AK8963, uma bússola digital (magnetômetro). Os dados capturados e processados são disponibilizados para o microcontrolador por meio de uma interface I2C a uma taxa de 4 amostras por minutos (Figura 3).

Quando da descrição da Figura 3, explorar a citação das partes a e b

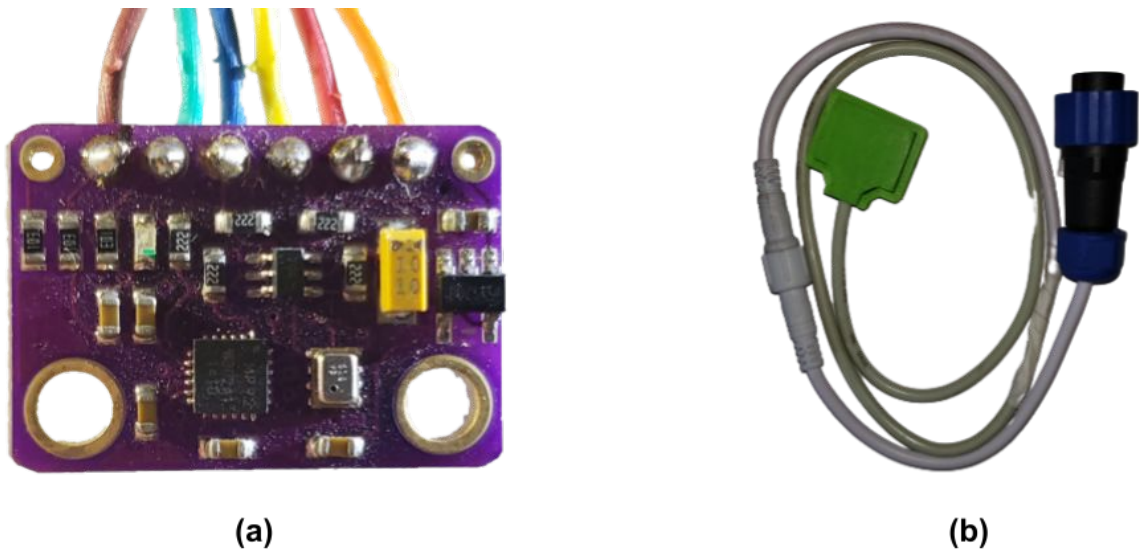


Figura 3 Unidade de processamento de movimento MPU-9250

O embarque do dispositivo IoT no animal foi realizado por meio de um cabresto bovino confeccionado em nylon que foi modificado para abrigar o invólucro de proteção de 50 mm de diâmetro e 165 mm de comprimento utilizado para proteger do dispositivo IoT de choques mecânicos e umidade causados pela movimentação normal do animal no pasto e no manejo nas salas de ordenha (Figura 4). Também citar no texto descritivo as parte a e b da Figura 4.

Também foi desenvolvido um algoritmo para identificar o comportamento ingestivo do bovino que utiliza os dados capturados no IMU para calcular a inclinação aproximada da cabeça do animal e são submetidos a uma árvore de decisão que classifica o comportamento do animal em tempo real. As informações sobre os comportamentos ingestivos são transmitidos em intervalos de tempo regulares e programáveis, neste trabalho adotou-se que os intervalos de coletas das informações nos dispositivos IoT embarcados nos animais fossem realizados a cada 5 minutos.



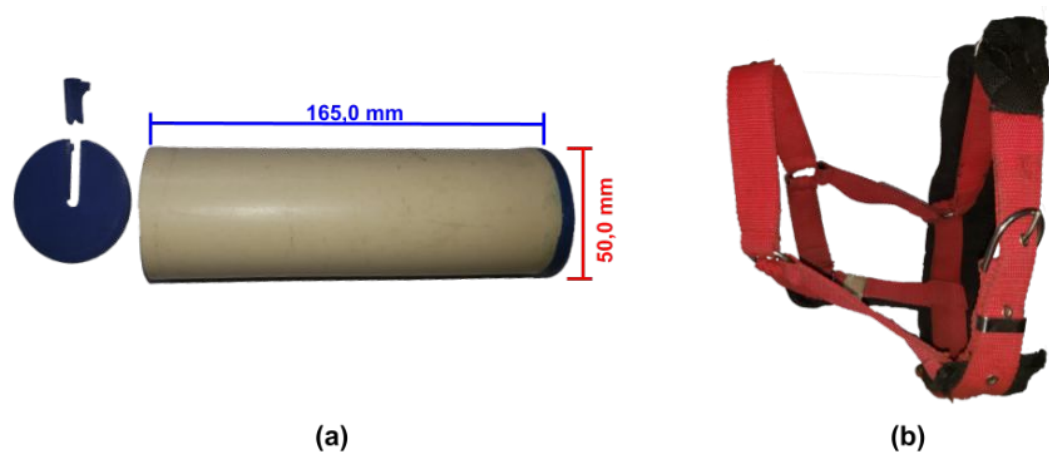


Figura 4 Involucro de proteção de PVC (a) e cabresto de nylon (b)

Nesse trabalho definiu-se que o comportamento ingestivo pastejar se caracteriza por o animal está com a cabeça baixa para selecionar e recolher a forragem podendo estar parado ou em movimentos lentos. Por sua vez, o comportamento ingestivo ócio ou descanso se caracteriza por o animal está parado, em pé ou deitado e sem movimentos. Para isso foi utilizado o ângulo Pitch calculado a parti dos dados capturados da unidade de medida inercial e a velocidade de deslocamento capturadas do módulo GPS. Os dados gerados no módulo GPS e no IMU são utilizando no algoritmo de árvore de decisão para classificar o comportamento em pastejar, ócio, caminhar e outros.

Na estratégia empregada para criar a árvore de decisão utilizada no algoritmo de classificação foi definido que inicialmente o algoritmo utiliza-se os dados da velocidade de deslocamento para identificar se o animal estava em movimento (velocidade igual ou superior a 0,50 m/s) ou parado (velocidade igual ou superior a 0,50 m/s). Em seguida o algoritmo passa a utilizar os dados do ângulo Pitch (ângulo de arfagem associado ao movimento em torno do eixo horizontal, perpendicular ao eixo longitudinal que na aviação é popularmente definido como levantar ou baixar o nariz do avião).

Após realização de testes verificou-se que o algoritmo classificador apresentou melhores resultados quando o sensor IMU foi fixado em baixo da mandíbula do animal quando comparados com os resultados da fixação dos IMU dentro do dispositivo IoT. Pode-se observar na Figura 5 que o vetor (em verde) formado pelo local de fixação do sensor (caixa verde) está perpendicular ao eixo longitudinal da cabeça do bovino. Logo a variação desse ângulo pode ser mensurada por meio do ângulo Pitch extraídos dos dados capturados pelo sensor IMU.



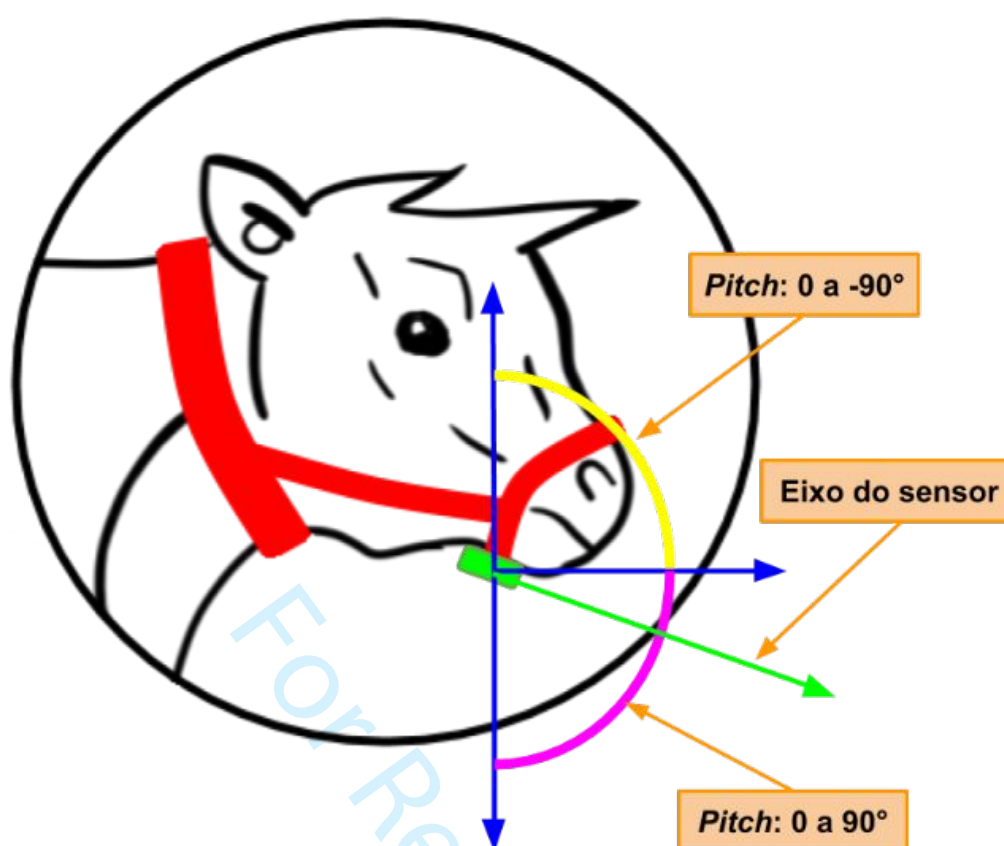


Figura 5 Local de fixação da unidade de medida inercial no animal

Na árvore de decisão, foram utilizados os valores do ângulo Pitch entre  $-30^\circ$  e  $30^\circ$  para determinar que o animal estava com a cabeça paralela com o horizonte, ângulos Pitch maiores ou iguais a  $35^\circ$  para a cabeça apontada para baixo e ângulos menores que  $-45^\circ$  para a cabeça aponta para cima. Os valores de ângulos utilizados no algoritmo de classificação foram inicialmente escolhidos após observação visual do animal utilizando o cabresto com o dispositivo IoT nos três comportamentos ingestivo.

Em seguida, os dados coletados foram submetidos à várias rodadas no algoritmo de classificação utilizando os valores dos ângulos obtidos de forma visual como valores iniciais e a cada nova rodada os resultados do classificador era avaliado quanto sua precisão na classificação do comportamento ingestivo. Valores de ângulos entre  $30^\circ$  e  $35^\circ$  ou  $-30^\circ$  e  $-45^\circ$  capturados pelo sensor foram descartados pelo algoritmo classificador pois seu uso reduzia de forma significativa a precisão do algoritmo. A estrutura da árvore de decisão implementado pelo algoritmo de classificação é apresentado graficamente na Figura 6.

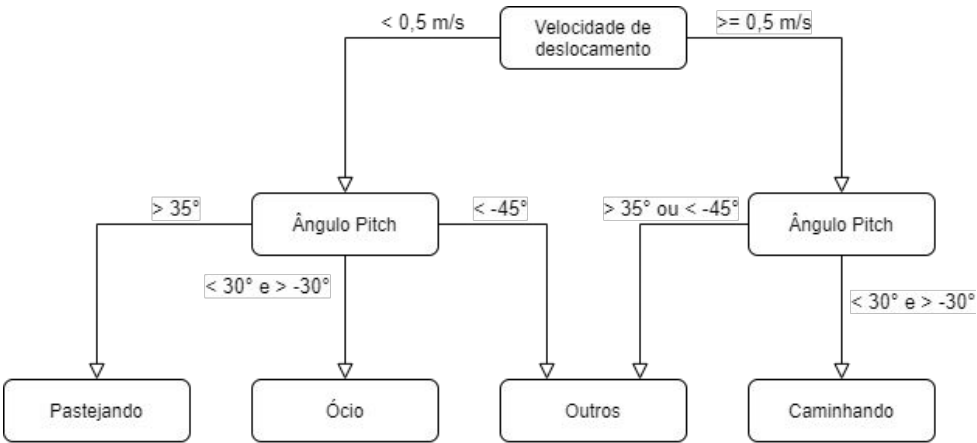


Figura 6 Representação gráfica da árvore de decisão implementado no algoritmo de classificação

Resultados e Discussão

Comportamento ingestivo do bovino obtido pelo algoritmo classificador utilizando os dados do módulo GPS em conjunto com os dados do sensor IMU que foram coletados durante a rotina de normal do animal de busca por alimento livre em um campo (pasto) por um período de 1100 minutos são apresentados na Figura 7.

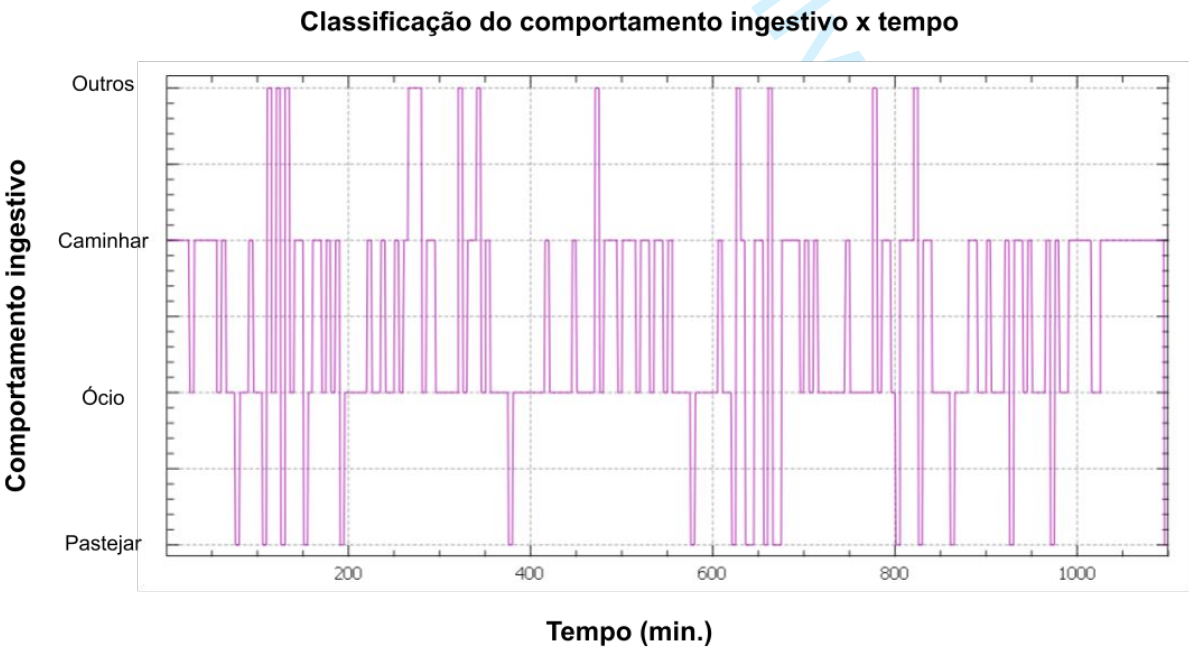
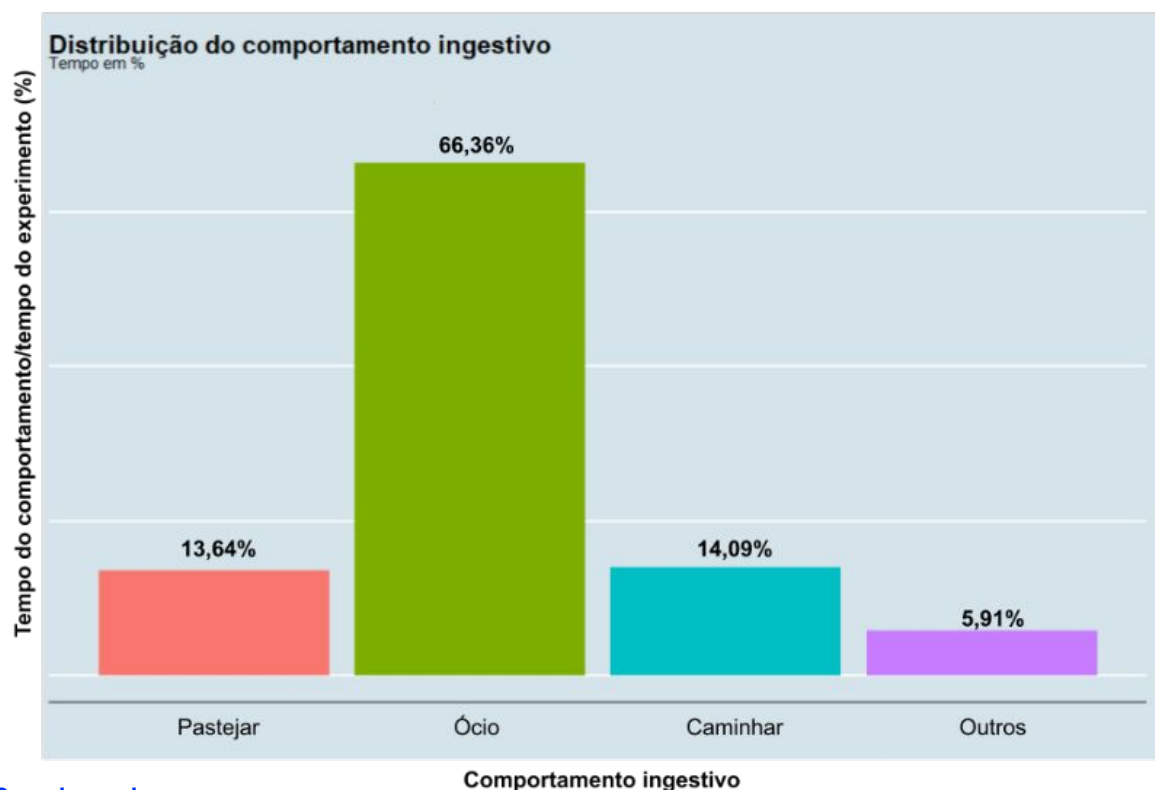


Figura 7 Gráfico de linha de tempo do comportamento ingestivo

## Edição Especial – Special Edition

No gráfico pode-se observar quatro estados comportamentais, sendo que o algoritmo de classificação foi implementado para identificar três comportamentos ingestivos (Pastejar, Ócio, Caminhar). O quarto estado foi definido como um comportamento ingestivo cujos dados utilizados pelo classificador não se enquadram nos três primeiros.

Na Figura 8 é ilustrado o histograma do comportamento ingestivo em função do tempo de monitoramento do animal em pasto. Foi constatado que durante a coleta dos dados o animal permaneceu a maior parte do tempo, cerca de 66,36%, em ócio.



## Duas legendas

*Figura 8 Histograma da distribuição do comportamento ingestivo em relação ao período de observação do animal em pasto.*

Na Figura 9 pode ser observado o deslocamento do animal monitorado no pasto. Os pontos em vermelho representam localizações (latitude e longitude) capturados pelo Módulo GPS que foi configurado para enviar uma nova localização a cada 2 min. O ponto destacado por uma bandeira amarela indica a localização do Gateway utilizado no experimento para coletar em tempo real os dados capturados pelo dispositivo IoT embarcado no animal. A linha azul que conecta o Gateway a um dos pontos vermelho indica a distância máxima em linha reta de deslocamento do animal observado durante o experimento.



Figura 9 Mapa de rastreamento do deslocamento do animal em pasto.

No trabalho desenvolvido por Nascimento et al. (2013) em seu trabalho com vacas mestiças (Holandês/Zebu) submetidas ao sistema de criação semi-intensivo na região do brejo paraibano, foi verificado que os animais ficaram 38,75 % do dia no comportamento ingestivo pastejar, ruminar em 33,33 % e em ócio por de 27,92 % do dia. Nos estudos apresentados por Souza et al. (2011) com novilhas foi verificado o comportamento ingestivo pastejar durante 38,32 %, ruminar por 31,94 % e em ócio por 29,74 % do dia e nos estudos de Martini et al. (2017), agora com novilhos mestiços (Charolês/Nelore), registraram resultados do comportamento ingestivo pastejar em 39,53 %, ruminar em 29,13 % e em ócio de 31,31 % do dia. Na pesquisa desenvolvida por Rodrigues et al. (2019) que buscava-se avaliar os efeitos da utilização de pastagens de sorgo forrageira no comportamento ingestivo de novilhas mestiças (Charolês/Nelore) foi observado que os animais ficaram 28,75 % pastejando, 27,31 ruminando, 41,30 % em ócio e 2,64 % em outros comportamentos. Já nos estudos desenvolvidos por Mazocco et al. (2017) foram usados novilhos machos castrados mestiços (Charolês/Nelore) para verificar o comportamento ingestivo dos animais quando submetido a uma dieta na qual foi incluída a borra de soja, os resultados apontaram que os animais passaram em média 12,95 %, 31,45 % e 55,54 % do dia pastejando, ruminando e em ócio respectivamente.

Comparando a soma dos resultados dos comportamentos ingestivos ruminar e ócio, apresentado por Cardoso [11] em seu trabalho que totalizam em 61,25 % com os obtidos neste trabalho que ficou

em 66,36 %, pode-se perceber que provavelmente o algoritmo de classificação adotado neste trabalho está classificando os dois comportamentos como em estado de ócio.

Na Figura 9 pode-se observar o mapa de deslocamento do animal durante sua rotina de busca por alimento no pasto. Neste experimento, a maior distância em linha reta observada entre o dispositivo IoT embarcado no animal e o Gateway foi de aproximadamente 273 metros. No trabalho desenvolvido por Silva et al. (2019) também utilizando a tecnologia de transmissão LoRa para conectar um dispositivo de aquisição de dados de baixa energia implantado em um vinhedo com seu Gateway foram de 400 metros. A diferença constatada entre os trabalhos pode ser explicada devido o animal não ter se deslocado para distâncias superiores como pode ser verificado pela distribuição dos pontos vermelhos na Figura 9, logo o dispositivo, caso fosse submetido a distâncias maiores poderia alcançar as mesmas distâncias verificadas no trabalho de (Silva et al., 2019).

## Conclusões

O dispositivo IoT embarcado para a captura e transmissão das informações sobre o deslocamento e o comportamento ingestivo de bovinos desenvolvido e implementado mostrou-se capaz de realizar a aquisição, classificação e transmissão em tempo real das informações monitoradas de forma satisfatória, atingindo assim os seus objetivos. Os dados do ângulo Pitch captados por meio da unidade de medida inercial (MPU-9250) e os dados da velocidade de deslocamento capturados pelo módulo GPS (NEO-6M) ambos utilizados na classificação do tipo de comportamento ingestivo do animal, apresentou valores médios compatíveis aos obtidos em trabalhos semelhantes. A primeira versão do dispositivo IoT embarcado conseguiu rastrear o deslocamento do animal no pasto, bem como monitorar seu comportamento ingestivo com precisão similar aos obtidos em outros trabalhos. Entretanto, a maioria desses trabalhos não são capazes de transmitir os dados coletados a distância

alcançada nos testes demonstrados nesse trabalho. Portanto, pode-se concluir que o dispositivo proposto é adequado para o uso em vacas criadas a pasto, pois comprovou ter um desempenho superior em alcance de cobertura em ambiente externo.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao programa de pós-graduação em Engenharia Agrícola do Centro de Tecnologia e Recurso Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, ao Laboratório de Construções Rurais e Ambiente e ao Laboratório de Bovinocultura do Departamento de Zootecnia do Centro de Ciência Agrárias da Universidade Federal da Paraíba do Campus Areia pelo apoio na realização dos experimentos.

Referências

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2019) Censo Agropecuário 2017: resultados definitivos. 2019. Disponível em: <[https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/94/cd\\_2010\\_religiao\\_deficiencia.pdf](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/94/cd_2010_religiao_deficiencia.pdf)>. Acesso em: 24 out. 2020.

Lavric A (2019) LoRa (Long-Range) high-density sensors for Internet of Things. Journal of Sensors, v. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1155/2019/3502987>



- Martini PM, Brondani IL, Alves Filho DC, Viana AFP, Adams SM, Klein JL, Rodrigues LS, Catellam J (2017) Comportamento ingestivo de bovinos jovens mantidos em pasto de sorgo ou milheto. *Boletim de Indústria Animal*, v. 74, n. 4, p. 308-318. DOI: <https://doi.org/10.17523/bia.v74n4p308>
- Callegaro ÁM, Alves Filho DC, Pizzuti LÂD, Segabinazzi LR, Brondani IL, Martini APM (2018) Comportamento ingestivo de novilhos mestiços terminados em confinamento alimentados com borra de soja. *Ciência Animal Brasileira*, 19. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-6891v19e-28150>
- Nascimento GV, Cardoso EDA, Batista NL, de Souza BB, Cambuí GB (2013) Indicadores produtivos, fisiológicos e comportamentais de vacas de leite. *Agropecuária Científica no semiárido*, 9(4), 28-36. DOI: <http://dx.doi.org/10.30969/acsa.v9i4.349>
- Pratama YP, Basuki DK, Sukaridhoto S, Yusuf AA, Yulianus H, Faruq F, Putra FB (2019) Designing of a Smart Collar for Dairy Cow Behavior Monitoring with Application Monitoring in Microservices and Internet of Things-Based Systems. In 2019 International Electronics Symposium (IES) (pp. 527-533). IEEE. DOI: <https://doi.org/10.1109/ELECSYM.2019.8901676>
- Rodrigues LS, Alves Filho DC, Brondani IL, Restle J, Silva VS, Colvero PCP, Bona RA (2019). Comportamento ingestivo de novilhas de corte em pastagem de sorgo forrageiro implantada com diferentes arranjos populacionais. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 71(6), 2025-2033. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-4162-10026>
- Silvério AG, dos Santos MSC, dos Santos Pedrozo V, de Souza MVB (2019) Viabilidade da implantação de sistemas de informação na produção de leite UHT. *Brazilian Journal of Development*, 5(4), 3072-3076. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv5n4-1420>
- Souza ANM, Rocha MG, Pötter L, Roso D, Glienke CL, Oliveira Neto RA (2011) Comportamento ingestivo de novilhas de corte em pastagem de gramíneas anuais de estação



## Edição Especial – Special Edition

- 283 quente. Revista Brasileira de Zootecnia, 40(8), 1662-1670. DOI:  
284 <https://doi.org/10.1590/S1516-35982011000800006>
- 285 Souza CC, de Jesus L, Cristaldo MF, Pires PP, da Gama Viganó HH (2019) Técnicas de  
286 reconhecimento de padrões no comportamento de bovinos em função de dados de GPS. Revista  
287 Ibero-Americana de Ciências Ambientais, 10(1), 340-350. DOI:  
288 <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2019.001.0028>
- 289 Sumi K, Zin TT, Kobayashi I, Horii Y (2018) Framework of cow calving monitoring system  
290 using a single depth camera. In 2018 International Conference on Image and Vision Computing  
291 New Zealand (IVCNZ) (pp. 1-7). IEEE.
- 292 Silva N, Mendes J, Silva R, dos Santos FN, Mestre P, Serôdio C, Morais R (2019) Low-cost  
293 IoT LoRa® solutions for precision agriculture monitoring practices. In EPIA Conference on  
294 Artificial Intelligence (pp. 224-235). Springer, Cham.
- 295 Unold O, Nikodem M, Piasecki M, Szyk K, Maciejewski H, Bawiec M, ... Zdunek M (2020)  
296 IoT-Based Cow Health Monitoring System. In International Conference on Computational  
297 Science (pp. 344-356). Springer, Cham.
- 298 Vilela D, de Resende JC, Leite JB, Alves E (2017) The evolution of milk in Brazil in five  
299 decades. Revista de Política Agrícola, 26(1), 5-24.
- 300 Wang J, He Z, Ji J, Zhao K, Zhang H (2019) IoT-based measurement system for classifying  
301 cow behavior from tri-axial accelerometer. Ciência Rural, 49(6).