

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS VETERINÁRIAS

SARA ADNA SANTOS DE OLIVEIRA

Uso de sistema de monitoramento automatizado na detecção do estro
após protocolo de IATF em vacas leiteiras Girolando a pasto.

Uberlândia- MG

2024

SARA ADNA SANTOS DE OLIVEIRA

Uso de sistema de monitoramento automatizado na detecção do estro após protocolo de IATF em vacas leiteiras Girolando a pasto.

Dissertação apresentada à Faculdade de Medicina Veterinária da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial para obtenção do título mestre em Ciências Veterinárias.

Área de concentração: Produção Animal
Orientador: Isabel Cristina Ferreira

Uberlândia- MG

2024

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

O48 2024	<p>Oliveira, Sara Adna Santos de, 1996- Uso de sistema de monitoramento automatizado na detecção do estro após protocolo de IATF em vacas leiteiras girolando a pasto [recurso eletrônico] / Sara Adna Santos de Oliveira. - 2024.</p> <p>Orientadora: Isabel Cristina Ferreira. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Pós-graduação em Ciências Veterinárias. Modo de acesso: Internet. Disponível em: http://doi.org/10.14393/ufu.di.2024.582 Inclui bibliografia. Inclui ilustrações.</p> <p>1. Veterinária. I. Ferreira, Isabel Cristina ,1975-, (Orient.). II. Universidade Federal de Uberlândia. Pós- graduação em Ciências Veterinárias. III. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDU: 619</p>
-------------	---

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:

Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091
Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
 Secretaria da Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Ciências
 Veterinárias
 BR 050, Km 78, Campus Glória , Uberlândia-MG, CEP 38400-902
 Telefone: (34) 2512-6811 - www.ppgcv.famev.ufu.br - mesvet@ufu.br



ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Ciências Veterinárias				
Defesa de:	Dissertação de Mestrado Acadêmico PPGCVET Nº 09/2024				
Data:	31 de julho de 2024	Hora de início:	10:01	Hora de encerramento:	13:02
Matrícula do Discente:	12212MEV011				
Nome do Discente:	Sara Adna Santos de Oliveira				
Título do Trabalho:	Uso de sistema de monitoramento automatizado na detecção do estro após protocolo de IATF em vacas leiteiras girolando a pasto.				
Área de concentração:	Produção Animal				
Linha de pesquisa:	Forragicultura, manejo e eficiência na produção dos animais e de seus derivados				
Projeto de Pesquisa de vinculação:	Avaliação do desempenho reprodutivo e produtivo do sistema de produção				

Reuniu-se por vídeoconferência na Universidade Federal de Uberlândia, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Ciências Veterinárias, assim composta: Professores Doutores: Ricarda Maria dos Santos - (FAMEV/UFU); João Henrique Moreira Viana - (EMBRAPA); Isabel Cristina Ferreira - (EMPBRAPA CERRADOS), orientador(a) do(a) candidato(a).

Iniciando os trabalhos o(a) presidente da mesa, Dr(a). Isabel Cristina Ferreira, apresentou a Comissão Examinadora e o candidato(a), agradeceu a presença do público, e concedeu ao Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir o senhor(a) presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos(às) examinadores(as), que passaram a arguir o(a) candidato(a). Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o(a) candidato(a):

Aprovada.

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Isabel Cristina Ferreira, Usuário Externo**, em 01/08/2024, às 10:36, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Joao Henrique Moreira Viana, Usuário Externo**, em 01/08/2024, às 11:21, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ricarda Maria dos Santos, Professor(a) do Magistério Superior**, em 02/08/2024, às 08:47, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **5546095** e o código CRC **9A383996**.

Dedico este trabalho a Deus, aos meus pais,
por sempre estar ao meu lado e meus irmãos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por toda a bondade e maravilha que tem feito em minha vida. Serei eternamente grata a Deus porque, se não fosse por Ele, não teria chegado onde cheguei. Mesmo não tendo condições, Ele foi aquele que me capacitou, dando forças para sempre seguir em frente e conseguir concluir mais uma etapa.

Sou imensamente grata à minha grande família, à minha mãe Denise e meu pai José Ricardo, que tem sido minha grande inspiração e motivação, e aos meus seis irmãos, que têm sido os meus melhores amigos e companheiros.

Com muita satisfação, deixo aqui meu agradecimento à Dra. Isabel, que tem sido meu grande exemplo e, com paciência, tem me orientado, sempre me encorajando e apoiando em tudo.

À Professora Dra. Ricarda Maria dos Santos e ao Dr. João Henrique Moreira Viana por aceitarem participar da minha banca de mestrado e por suas valiosas contribuições e orientações.

À Embrapa Cerrados e a fazenda experimental por ceder os animais, e por me receberem de braços abertos. Obrigada pela paciência, ensinamentos e conselhos ao longo dessa jornada.

À FAMEV UFU por ter contribuído com a minha formação técnica, e secretaria da Pós-Graduação em Ciências Veterinárias por sempre estarem dispostos a ajudar, oferecendo suporte e orientação em todos os momentos necessários,

Agradeço a Pércia Rocha, por sempre estar presente em todos os momentos desta caminhada acadêmica.

À Fundação de Apoio à Pesquisa do Distrito Federal- FAPDF, pelo financiamento parcial do projeto.

À Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES por ter concedido 12 meses da bolsa de pesquisa.

Serei eternamente grata a cada um que esteve presente durante esta jornada, sabendo que ainda tem um longo caminho a percorrer e que posso contar com cada um de vocês.

“Sozinhos vamos mais rápidos. Juntos
vamos mais longe”

(Autor desconhecido)

RESUMO

O uso da pecuária de precisão nas propriedades têm resultados positivos na produção, no bem-estar animal e menor impacto ambiental, pois permite a observação individual de cada animal e ser alertado sobre possíveis alterações de saúde e de comportamento. O principal desafio do uso dessas ferramentas, principalmente no Brasil para animais a pasto, está no alcance das antenas, devido à potência e à extensão da área onde os animais se encontram. Com isso, objetivou-se neste estudo avaliar a eficiência do uso do sistema de monitoramento automatizado de atividade, acelerômetro, para detectar o estro quando comparado a observação visual e o método de raspagem de adesivo na base da cauda, em vacas leiteiras mestiças a pasto. O estudo foi desenvolvido no Centro de Tecnologia para Raças Zebuínas Leiteiras - CTZL, Embrapa Cerrados, Brasília- DF. A pesquisa foi conduzida com 25 vacas leiteiras 5/8 Girolando (n= 13 primíparas e n= 12 múltíparas), mantidas em piquetes de *Panicum maximum* cv Mombaça em lotação rotacionada. Os animais eram ordenhados duas vezes ao dia e retornavam para o pasto logo após a ordenha. O experimento ocorreu no período de setembro a novembro de 2021, com 2 réplicas de estros, e todos os animais foram submetidos ao exame ultrassonográfico. A sensibilidade e especificidade do estro foram avaliadas nas metodologias: 1) Sensores Monitoramento Automatizado da Atividade (MAA), 2) Observações visuais e 3) Detector de estro de fita adesiva. As coleiras de monitoramento foram colocadas 15 dias antes do início do protocolo de IATF para estabelecer a linha base das atividades de cada animal. Após esse período, iniciou-se o protocolo reprodutivo. No dia 0 (D0), aplicou 2ml de benzoato de estradiol, e foi colocado o dispositivo intravaginal de progesterona, que foi removido no D8, quando aplicou 2mL de prostaglandina, 2mL de gonadotrofina coriônica equina e 1,0mL de cipionato de estradiol, além de colocar a fita adesiva. Nos dias D9, D10, D11, foram realizadas observações visuais para detectar o estro. A sensibilidade, especificidade, acurácia, VPP e VPN, foram analisadas nos três métodos para cada tratamento. Em média, a sensibilidade das três metodologias de referência, observação visual, fita adesiva e CL foi respectivamente de: 85,1%, 82,9% e 72%. A especificidade do método visual e do corpo lúteo foi de 66,7%, enquanto a da fita adesiva foi de 28,6%. A acurácia foi de 64% para o método visual, 72% para o corpo lúteo e 74,4% para o adesivo. Conclui-se que o MAA tem eficiência similar aos métodos convencionais de detecção do estro. O uso do MAA a pasto é auxiliar na detecção do estro, até que o sistema e algoritmo sejam ajustados corretamente.

Palavras-chave: colar de monitoramento; pecuária de precisão; reprodução; sistema extensivo.

ABSTRACT

The use of precision livestock farming on farms has shown positive results in production, animal welfare, and reduced environmental impact, as it allows for the individual observation of each animal and early alerts on potential health and behavioral changes. The main challenge of utilizing these tools, especially in Brazil with grazing animals, lies in the range of the antennas, due to the power limitations and the vast areas where the animals are located. Therefore, the aim of this study was to evaluate the effectiveness of an automated activity monitoring system, using an accelerometer, for estrus detection compared to visual observation and the tail-base adhesive scraping method in crossbred dairy cows on pasture. The study was conducted at the Technology Center for Zebu Dairy Breeds (CTZL), Embrapa Cerrados, Brasília-DF. The research involved 25 5/8 Girolando dairy cows (n=13 primiparous and n=12 multiparous) kept in rotational grazing on *Panicum maximum* cv Mombaça paddocks. The animals were milked twice a day and returned to pasture immediately after milking. The experiment took place from September to November 2021, with two estrus cycles, and all animals underwent ultrasound examinations. Sensitivity and specificity for estrus detection were assessed using three methods: 1) Automated Activity Monitoring (AAM) sensors, 2) Visual observations, and 3) Adhesive tape estrus detector. The monitoring collars were applied 15 days prior to the start of the TAI protocol to establish the baseline activity for each animal. After this period, the reproductive protocol began. On day 0 (D0), 2 mL of estradiol benzoate was administered, and a progesterone intravaginal device was inserted. This device was removed on day 8 (D8), followed by the administration of 2 mL of prostaglandin, 2 mL of equine chorionic gonadotropin, and 1 mL of estradiol cypionate, in addition to the placement of the adhesive tape. Visual observations were conducted on days D9, D10, and D11 to detect estrus. Sensitivity, specificity, accuracy, positive predictive value (PPV), and negative predictive value (NPV) were analyzed across all three methods for each treatment. On average, the sensitivity of the three reference methodologies—visual observation, adhesive tape, and CL—was 85.1%, 82.9%, and 72%, respectively. The specificity of the visual and corpus luteum methods was 66.7%, while the adhesive tape method showed a specificity of 28.6%. Accuracy was 64% for the visual method, 72% for corpus luteum, and 74.4% for adhesive tape. It was concluded that the MAA has efficiency comparable to conventional methods of estrus detection. The use of MAA in pasture systems can assist in estrus detection until the system and algorithm are properly fine-tuned.

Keywords: monitoring collar; precision livestock farming; reproduction; extensive production system.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Esquema de funcionamento do sensor de monitoramento.....	20
Figura 2 -	Posições dos sensores acoplados no animal.....	21
Figura 3 -	Mapa da fazenda	27
Figura 4 -	Animais experimentais recebendo concentrado e volumoso no cocho.....	27
Figura 5-	Vaca equipada com sensor de monitoramento.....	29
Figura 6 -	Gráfico gerado pelo aplicativo, mostrando o aumento da atividade e a diminuição da ruminação.....	29
Figura 7 -	Representação gráfica do protocolo de IATF.....	30
Figura 8-	Lote de vacas que participaram do experimento mostrando adesivo da cauda raspado em mais de 75%.....	31

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 -	Principais hormônios do ciclo estral de bovinos.....	15
------------	--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-	Parâmetros mensurados na validação do sensor com respectiva fórmula e definição.....	32
Tabela 2-	Desempenho do sensor de monitoramento automatizado de atividade para detecção do estro em vacas girolando a pasto comparado as diferentes metodologia de referência nas réplicas 1 e 2.....	34
Tabela 3-	Valor preditivo positivo, valor preditivo negativo, e prevalência da primeira e segunda réplica do experimento.....	37

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AC	Acurácia
ACTH	Hormônio Adrenocorticotrófico
CL	Corpo Lúteo
CTZL	Centro de Tecnologia para Raças Zebuínas Leiteiras.
EP	Especificidade
E2	Estrógeno
FN	Falso Negativo
FP	Falso Positivo
FSH	Hormônio Folículo Estimulante
GnRH	Hormônio Liberador de Gonadotrofina
IATF	Inseminação Artificial em Tempo Fixo
LH	Hormônio Luteinizante
MAA	Monitoramento Automatizado da Atividade
P4	Progesterona
PGF2 alfa	Prostaglandina F2 alfa
Se	Sensibilidade
VPN	Valor Preditivo Negativo
VPP	Valor Preditivo Positivo
VN	Verdadeiro Negativo
VP	Verdadeiro Positivo

SUMÁRIO

1	INDRODUÇÃO.....	12
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
2.1	Ciclo Estral.....	14
2.1.2	Comportamento do Estro	16
2.1.3	Fatores que afetam a detecção e a manifestação do estro	17
2.2.	Funcionamento do sistema de monitoramento animal.....	20
2.2.1.	Posições de sensores acoplados no animal.....	21
2.2.2.	Uso dos sensores na reprodução dos bovinos	24
3	MATERIAIS E MÉTODOS	26
4	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	31
5	RESULTADO E DISCUSSÃO.....	33
6	CONCLUSÃO	39
	REFERÊNCIAS.....	39

1 INTRODUÇÃO

O uso de sistemas tecnológicos é crescente nas propriedades rurais e na pecuária. As mudanças no gerenciamento, com o uso da pecuária de precisão, naturalmente conduz os técnicos a usar uma nova forma de gestão, mais eficiente, ágil e em tempo real. A implementação dos novos modelos de gerenciamento tem beneficiado os produtores, especialmente pelo desenvolvimento dos sensores, onde os gestores têm a oportunidade de observar seu rebanho à distância, monitorando comportamento reprodutivo, atividades em tempo real, possíveis doenças, consumo alimentar, entre outros.

Ao adotar a pecuária de precisão, as propriedades têm resultados positivos na produção, no bem-estar animal e menor impacto ambiental, por estar observando cada animal individualmente e ser alertado sobre possíveis alterações de saúde e de comportamento (LOVARELLI;et al., 2020). As vantagens de obter os dados que são fornecidos pelo sistema dos sensores são os possíveis aumentos associados à reprodução, por meio da observação minuciosa do estro, e no bem-estar animal, com a intervenção precoce em casos de doenças, evitando perdas. Além disso, há um aumento da rastreabilidade e da segurança alimentar dos produtos, sendo economicamente viável para o produtor. O uso do sistema de monitoramento também auxilia na tomada de decisões mais rápidas e assertivas. Portanto, esses sistemas tecnológicos são ferramentas valiosas na otimização do manejo em fazendas leiteiras, contribuindo para uma pecuária mais produtiva e sustentável. O principal desafio no uso dessas ferramentas, especialmente no Brasil, em sistema extensivo, se dá pelo alcance das antenas devido à potência e à área em que os animais estão. Dependendo do pasto que esse animais estão, pode ser necessário ter mais antenas instaladas. Os dados dos sensores, que são emitidos nos aplicativos dos aparelhos eletrônicos, necessitam do funcionamento adequado de internet (TANEJA et al., 2019).

Independente do sistema de criação, sendo ele extensivo, onde se tem a criação em ambiente com grande espaço e a pecuária intensiva, que os animais são criados em uma área menor, ambos os sistemas trazem desafios para a observação visual. No entanto, o sistema extensivo enfrenta maiores desafios devido ao grande espaço disponível para os animais e à presença de áreas onde o alcance da antena é limitado ou onde sua instalação é inviável (LOVARELLI et al., 2020). Entre os desafios da observação visual, estão situações como o estro noturno e a ovulação sem manifestação de estro, que podem ocorrer em novilhas, vacas no pós- parto ou em períodos de temperatura elevadas. O estro pode ocorrer com maior

frequência durante o período da noite, quando as temperaturas são mais agradáveis e os animais tendem a expressar mais o comportamento da monta. Isso pode tornar a visualização mais desafiadora, já que normalmente não tem uma pessoa responsável por ficar observando os animais neste período.

O sistema de monitoramento consegue gerar sinal específico de cada animal, e tem a capacidade de captar sinais indicativos de alterações no comportamento, fornecendo informações concretas sobre eventos ambientais e as condições físicas e fisiológicas dos animais. No entanto, há a necessidade de interpretação e processamento desses dados, que são transmitidos para o computador (HERLIN et al., 2021). Ao contrário das observações realizadas visualmente, que não conseguem atender às necessidades individuais de cada animal (HERLIN et al., 2021). A observação visual requer mão-de-obra, custo, treinamento, pois o responsável precisa entender o comportamento animal e os sinais do estro. Para isso, é necessário tempo para observar cada animal e experiência para detectar corretamente, já que existem fatores que podem dificultar a expressão do estro, diminuindo os sinais e a duração (DISKIN e SCREENAN, 2000; HARRIS et al., 2010; DOBSON et al., 2007).

Para ter sucesso na observação, segundo Hulsen (2011), é importante não olhar apenas o animal, mas observar o conjunto como todo. Prestar atenção em cada detalhe atentamente, como os animais se distribuem na área em que estão, a higiene do ambiente, se estão comendo ou ingerindo água, e o escore corporal. O escore classicamente é olhado utilizando a escala subjetivas do Edmonson (1989) que vai de 1 a 5, sendo a classificação 1 muito magra e 5 muito gorda, pois são fatores que estão relacionados a reprodução e pode influenciar no comportamento do estro. É importante estabelecer uma rotina na observação de 2 a 3 vezes ao dia por no mínimo 30 minutos, para nenhum comportamento passar despercebido.

O objetivo neste estudo foi avaliar a eficiência do uso do sistema de monitoramento automatizado de atividade, acelerômetro colocado no pescoço, para detectar o estro quando comparado a observação visual e o método de raspagem de adesivo na base da cauda, em vacas leiteiras mestiças a pasto.

A hipótese do estudo é que o sistema de monitoramento automatizado de atividade é tão eficaz na identificação do estro quanto os métodos tradicionais de detecção de estro, como a observação visual e o método de raspagem de adesivo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Ciclo Estral

O ciclo estral da espécie bovina é considerado poliéstrica anual por manifestar estro a cada 21 dias, podendo variar de 17 a 25 dias (GONÇALVES, 2008). A mudança do comportamento durante ciclo estral se dá por meio do eixo hipotalâmico-hipofisário-gonadal responsável por secretar os hormônios (FERREIRA, 2010), tendo alterações no trato reprodutivo como na estrutura do ovário, incluindo crescimento e regressão dos folículos e do corpo lúteo (CL) (SARTORI et al., 2017).

O ciclo estral é dividido em quatro fases: proestro, estro, metaestro, diestro. A fase do proestro é caracterizada por elevadas concentrações de estrógeno (E2) produzido pelo folículo pré- ovulatório, esta fase se inicia pela lise do corpo lúteo (CL) que dura em torno de 3 a 4 dias, tendo a diminuição de concentrações de progesterona (P4) circulante. Logo após, ocorre o estro com pulsos frequentes de hormônio luteinizante (LH), fase final do crescimento folicular e aumento de E2 levando o animal a ter receptividade sexual característica do estro, como aceitar a monta, aumento da atividade, baixa ruminação (PETER et al., 2009; SARTORI et al., 2017)

Para as raças europeias o estro pode durar de 6 a 18 horas, diferente das raças zebuínas que dura em torno de 3 a 5 horas (RANDEL, 1994 e GALINA et al., 1995), mas pode variar de 10 a 30 horas de acordo com a idade, condições ambientais, tipo de manejo e produção de leite.

Após o estro, inicia-se o metaestro, caracterizado pela luteinização das células foliculares para a formação do CL. O E2 elevado ativa o núcleo arqueado do hipotálamo, tendo um aumento do hormônio liberador de gonadotrofina (GnRH) o qual, por sua vez, estimula uma elevação do LH na hipófise. Com o pico de LH, se tem diminuição drástica de concentração do E2 nas próximas 6 a 12 horas, no dia seguinte ocorre a ovulação e começa a luteinização das células foliculares para a formação de CL, este momento é caracterizado pelo metaestro que dura em torno de 4 a 5 dias. O início da produção de P4 junto com a luteinização compreende o diestro que dura em torno de 13 a 15 dias (SENGER, 2003; SARTORI et al., 2017).

A dinâmica dos eventos endócrinos durante o ciclo estral se inicia com a secreção do hormônio GnRH, agindo na adenohipófise e induzindo a produção de hormônios FSH e LH, o que, por sua vez, promove o crescimento do folículo e a ovulação. Esse feedback positivo

ajuda a manter a liberação elevada de GnRH e LH até o pico que resulta na ovulação. (Quadro1) (SARTORI et al . 2017).

Os responsáveis pela regulação dos eventos ocorridos durante o ciclo estral são os hormônios GnRH, FSH, LH, estradiol, progesterona e a interação entre eles. No quadro 1 estão sendo descritos a função e a fonte de cada um deles.

Quadro 1. Principais hormônios do ciclo estral de bovinos.

Glicoproteína	Local de produção	Classificação química	Função
GnRH	Hipotálamo	Decapeptídeo	É liberado de forma pulsátil pelo hipotálamo, o alvo do GnRH são locais específicos na hipófise anterior, que libera LH (Estes et al., 1977). Que provoca a ovulação ou luteinização do folículo dominante (Macmillan e Thatcher, 1991)."
LH	Hipófise anterior	Glicoproteína	Induz a ovulação, a formação e a preservação do corpo lúteo.
FSH			Promove o crescimento dos folículos e a produção de estrógenos.
P4	Células luteínicas do corpo lúteo	Esteróide	Responsável pela manutenção da gestação.
E2	Folículo ovariano	Esteróide	Regula secreção de gonadotrofinas, induz o sinal do estro, crescimento de ductos da glândula mamária e endometriais, auxilia no relaxamento das estruturas pélvicas.
PGF2 alfa	Endométrio	Eicosanóide	Estimula a luteólise.

Fonte: Hafez, 1982.

2.1.2 Comportamento do Estro

Quando a vaca aceita a monta, ela está apresentando receptividade sexual, isso significa que está tendo um comportamento sexual que é o estro. Este é o sinal primário, tendo uma duração que varia de 18 a 19 horas dependendo da vaca, o que destaca a importância de identificar o estro a tempo de inseminar (CHEBEL e VERONESE, 2020; CAETANO e JÚNIOR., 2015). O estro pode variar de 8 a 30 horas, e o comportamento da aceitação da monta pode acontecer de 15 a 18 horas, e cada monta pode durar de 3 a 7 segundos (O'CONNOR, 1993; LOPES; SATTER; WILTBANK,2004; MAATJE, 1997). Segundo Madureira et al., (2015) e Cerri et al., (2021) a intensidade e duração do estro possui baixa ligação com a concentração de estradiol, produção de leite, e o diâmetro do folículo pré-ovulatório durante este período. A maior probabilidade de gestação está ligada à maior duração do estro, pois sinais mais evidentes e com maior duração favorecem o desempenho reprodutivo, aumentando assim a taxa reprodutiva (BURNETT et. al., 2017 e CHEBEL e VERONESE., 2020). Além do comportamento característico do estro, que é deixar ser montada, a vaca pode apresentar sinais secundários, como erguer a cauda, o que pode ser um indicativo de que está receptiva a monta. A vaca também pode lambear e cheirar a vulva, e algumas apresentam o reflexo de Flehmen. Esse comportamento ocorre devido aos feromônios, ao cheirar outro animal, a vaca levanta o lábio superior gerando o reflexo. O odor dos feromônios captado pelo órgão vomeronasal envia sinais elétricos, por meio de nervos do bulbo olfatório acessório, até o hipotálamo, ativando o eixo hipotálamo-hipófise-gonadal (SEPÚLVEDA,2003).

Os animais em estro apresentam vulva edemaciada devido ao aumento do fluxo sanguíneo, muco cristalino e transparente, o que ajuda na entrada do sêmen e na lubrificação. Algumas vacas começam a mugir para chamar atenção tendo mugido intensos e frequente, ficam mais agitadas, e se aproximam mais das outras vacas, formando grupos devido às mudanças hormonais. Além disso, há um aumento da atividade, diminuição do apetite diminuindo e ruminação, e urinam com mais frequência para marcar território, esse aumento de micção ocorre devido a excitação. Estes sinais secundários podem não estar necessariamente associados ao estro (O'CONNOR,1993; GONÇALVES 2008). Para tanto, é recomendado que o produtor fique atento para que se decida se irá realizar a inseminação ou monta natural, antes que o estro termine (TANEJA et al.,2019).

2.1.3 Fatores que afetam a detecção e a manifestação do estro

Estudos mostram que a manifestação e a detecção do estro pode ser afetada por diversos fatores. Um dos exemplos de fatores que afetam na detecção do estro é o tipo de piso. Pois animais que estão instalados em piso de terra montam três vezes mais do que os animais que estão em piso de concreto (VAILES e BRITT, 1990). Outro fator que interfere na detecção do estro é a observação visual, pois o sucesso da observação está diretamente ligada ao horário, duração e de quem está observando, pois necessita de mão de obra treinada. Este método pode apresentar falhas podendo ter uma detecção equivocada ou a não identificação, por isso requer de uma observação minuciosa. A detecção de estro por este método varia de 30% a 70% dependendo do tipo do rebanho (BRUNASSI et al., 2010).

Estudo realizado por Cavestany et al. (2008) mostrou que, ao realizar a observação visual a pasto por 60 minutos durante o amanhecer e ao entardecer, a taxa de detecção aumenta para 94%. No entanto, quando a observação é feita por apenas 30 minutos e durante a ordenha, a taxa cai para 41% (CAVESTANY et al., 2008). Segundo Diskin e Screenan, (2000), ao observar cinco vezes ao dia durante 20 minutos, a taxa de detecção pode variar entre 90 a 95%. Erros na detecção de estro compromete todo o desempenho reprodutivo.

O estresse térmico influencia na manifestação do estro, resultando em baixo desempenho reprodutivo e, conseqüentemente, baixa taxa de concepção. Isso pode afetar a síntese dos hormônios reprodutivos quando as temperaturas ambientais atingem níveis elevados (DASH, et al. 2016 ; HAHN e EIGENBERG, 2003). O baixo desempenho ocorre devido à diminuição da liberação de LH e FSH, causada pela secreção do hormônio adrenocorticotrófico (ACTH), que aumenta a liberação de cortisol e bloqueia a ação do estradiol, prejudicando o comportamento sexual (HEIN e ALLRIC, 1992). Além disso, o estresse térmico afeta órgãos e tecidos das vacas leiteiras, diminuindo a produção de proteínas ligadas ao sistema reprodutivo, diminuindo o consumo alimentar e causando alcalose respiratória (WOLFENSON; ROTH e MEIDAN, 2000).

A diminuição do consumo alimentar ocorre devido a ação do estresse térmico no hipotálamo, inibindo a fome e induzindo a saciedade. O animal altera o comportamento para termorregulação, ficando mais tempo em ócio e pastejando menos (WEST et al., 2003; DE SOUZA et al., 2015). Segundo Sammad et al. (2020), o estresse térmico compromete o desenvolvimento folicular, resultando em alteração da maturação do ovócito e levando à morte embrionária. Isso ocorre devido à redução de progesterona plasmática durante o ciclo estral, causado pelo estresse.

Vacas em lactação são mais suscetíveis ao estresse térmico, o que prejudica a fertilidade em comparação com as novilhas. Isso ocorre porque a produção metabólica de calor ligada à lactação é maior, faz com que fique mais desafiador para as vacas garantir a temperatura corporal dentro da faixa adequada durante o estresse térmico, em comparação com novilhas que não estão em lactação (BADINGA et al., 1985 ; SARTORI et al., 2002). Quando se tem um aumento de 0,5°C na temperatura corporal fora da faixa fisiológica normal, a fertilidade começa a cair (GWAZDAUSKAS et al., 1973). O comportamento de monta diminui 22,23% quando se tem aumento de temperatura. Um estudo realizado por Helmer e Britt (1985) mostrou que 100% as vacas no período da manhã, quando as temperaturas são mais baixas, aceitaram a monta, diferente do período da tarde que teve uma aceitação de 77,77%. Thatcher et al. (1986) relatou que, no verão na Flórida, durante o período de estro, apenas 19% das vacas em estro foram detectadas pelo observador. Ao observar um rebanho leiteiro durante 80 dias consecutivos por meio de câmeras, Hurnik et al. (1975) observou que 70% do comportamento de monta era noturno.

Estudos realizados por Wolfenson et. al. (1995) mostraram que o estresse térmico tem uma ação na alteração de concentração da inibina e estrógeno, fazendo com que o folículo ovariano dominante diminua precocemente, diferente dos animais que estavam em um ambiente resfriado. Em 2006, um experimento realizado com vacas holandesas no final da lactação foi dividido em quatro grupos: verão, outono, inverno e o grupo câmara climática. Foi identificado que os animais que estavam no grupo verão e inverno apresentaram concentrações mais baixas de inibina e estrogênio nos folículos, o que pode ser explicado pela menor quantidade de células da granulosa viáveis (LEW et al., 2006). Essas células são responsáveis pela secreção de inibina e pela conversão de andrógenos em estradiol, através da atividade da aromatase. Com o comportamento do estro pode ser comprometido devido às alterações de concentração de estradiol circulante, vindo do folículo pré ovulatório, tendo ação no centro cerebral (GONÇALVES et al., 2008)

Um dos principais fatores que afeta a reprodução é a nutrição, sendo o escore de condição corporal (ECC) uma ferramenta utilizada para diagnóstico nutricional, ele estima o estado nutricional por meio de avaliação tátil, pois consegue avaliar o balanço energético negativo (BEN) no início da lactação que afeta diretamente na reprodução (FERREIRA, 2010) Vacas que estão em balanço energético negativo (BEN), tendem a entrar em anestro devido a baixa de insulina tendo como consequência o feedback negativo, isso acarreta a diminuição das gonadotrofinas e a não ovulação. Pois, o BEN em vacas aumenta os níveis sanguíneos de ácidos graxos não esterificados (AGNEs), ureia e β -hidroxibutirato, enquanto

os níveis de IGF-I, glicose e insulina tendem a diminuir, pois a insulina e glicose são priorizados para a produção de leite. Essa mudança nos parâmetros sanguíneos pode afetar negativamente a função ovariana e a fertilidade (Valentin et al., 2019).

Os nutrientes, quando absorvidos no organismo, geralmente seguem uma ordem de prioridades, e a reprodução é uma das primeiras funções a ser negativamente afetada em casos de má nutrição (PIRES, 2011; MAGGIONI et al., 2008). O desequilíbrio nutricional afeta diretamente a área reprodutiva, geralmente devido à falha no ajuste entre a disponibilidade de nutrientes e as necessidades dos animais em reprodução, ou daqueles prestes a iniciar sua vida reprodutiva (Valentin et al., 2019). Segundo ROBINSON et al (2006), a nutrição influencia a fertilidade por meio de nutrientes específicos para várias etapas do ciclo reprodutivo, além de exercer influência indireta ao afetar as concentrações hormonais circulantes. Por isso, é importante ter uma boa nutrição para ter um desempenho reprodutivo excelente, com consumo apropriado de proteínas, minerais, vitaminas e energia (PIRES, 2011). O desequilíbrio nutricional além de afetar a reprodução atinge também a produção de leite.

Vacas leiteiras de alta produção requerem uma elevada demanda nutricional. No entanto, devido à alta produção, principalmente no início da lactação, a vaca tem dificuldade em atingir a quantidade necessária de nutriente, entrando no balanço energético negativo. Como resultado, a vaca mobiliza os nutrientes de suas reservas corporais, o que leva à perda de peso (SANTOS et al., 1993). Ferguson (1988) mostrou que animais de baixa produção de leite possuem taxa de fertilidade de 48,5%, maior do que os animais que apresentam alta produção, tendo fertilidade de 38,5%. De acordo com Wiltbank et al (2006) e Lopez et al (2004) a duração de estro é menor para as vacas de alta produção, pois demanda de muita energia que leva conseqüentemente ao balanço energético negativo tendo atraso no estro e diminuição do comportamento que depende do estrógeno. A má nutrição afeta a reprodução a nível de hipófise, hipotálamo e ovários (SCHILLO, 1992).

Devido às dificuldades enfrentadas na detecção do estro por alguns animais apresentarem estro no período noturno e curta duração e limitações na observação visual, os sensores se apresentam como ferramenta alternativa para os produtores utilizarem, com objetivo de melhorar a eficiência na detecção de estro por meio de um acompanhamento individual do animal e economia da mão-de-obra.

2.2. Funcionamento do sistema de monitoramento animal

O sistema de monitoramento animal pode funcionar com auxílio de termômetros, microfones, eletrodo de pH e os acelerômetros de colar que são os mais utilizados. O funcionamento do sistema de monitoramento pode ser dividido em quatro fases, a primeira fase mensura os parâmetros fisiológicos e comportamentais individuais de cada animal como consumo de alimento, atividade, alterações hormonais, temperatura, entre outros. A segunda fase desta tecnologia se resume na transmissão de sinal, a terceira fase é o processamento das informações gerada pelo sensor juntamente com a informação real fazendo uma comparação dos dados e a quarta fase é a geração de alerta (LEE; SEO, 2021).

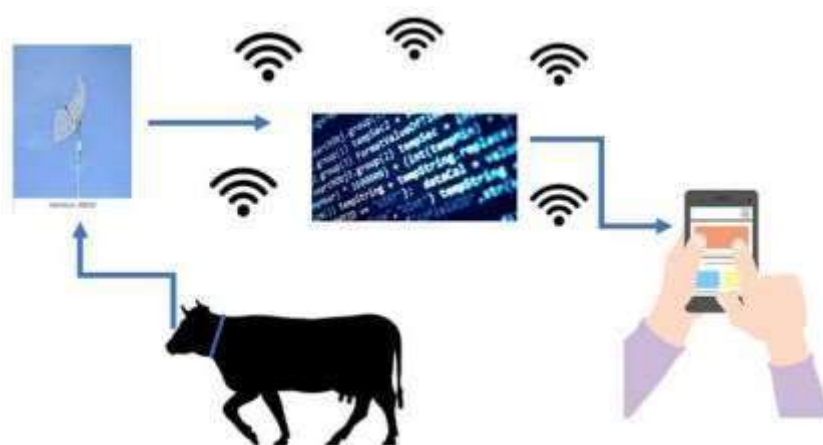


Figura 1- Esquema de funcionamento do sensor de monitoramento.

O sensor que está acoplado no animal emite um sinal que corresponde a detecção de um determinado parâmetro fisiológicos ou comportamentais, esse sinal é processado por meio de um software específico em seguida é interpretado por algoritmo em uma informação biológica, e compara com os resultados dos dados reais e o valor alvo, se a informação for diferente dos limites que o fabricante estabeleceu, vai acionar um alarme para o produtor por meio do celular, computador, ou tablet e este alarme indica a ação que o produtor deve realizar no animal (Figura 1) (LEE; SEO, 2021).

2.2.1. Posições de sensores acoplado ao animal

Diversos tipos de sensores que auxiliam no monitoramento dos animais podem ser utilizados. Existem duas formas de colocar os sensores nas propriedades: aqueles que são colocados nos animais e os que são instalados nos ambientes próximos onde os animais estão localizados. O objetivo desse monitoramento é facilitar o manejo dos animais e obter um relatório detalhado de cada animal, para intervir com precisão e rapidez quando há alterações de saúde e comportamento (HERLIN et al., 2021).

Os sensores instalados nas propriedades podem incluir câmeras, que capturam imagens e fazem a inspeção em pequena escala do animal, ou drones, que permitem o monitoramento em larga escala ao fornecer uma visualização geral do local onde os animais estão inseridos. No entanto, essa atividade é demorada e cara. Já os sensores colocados diretamente nos animais podem ser brincos, cabrestos, colares de pescoço, pernas, cauda, vaginas, entre outros (HERLIN et al., 2021) (Figura 2).

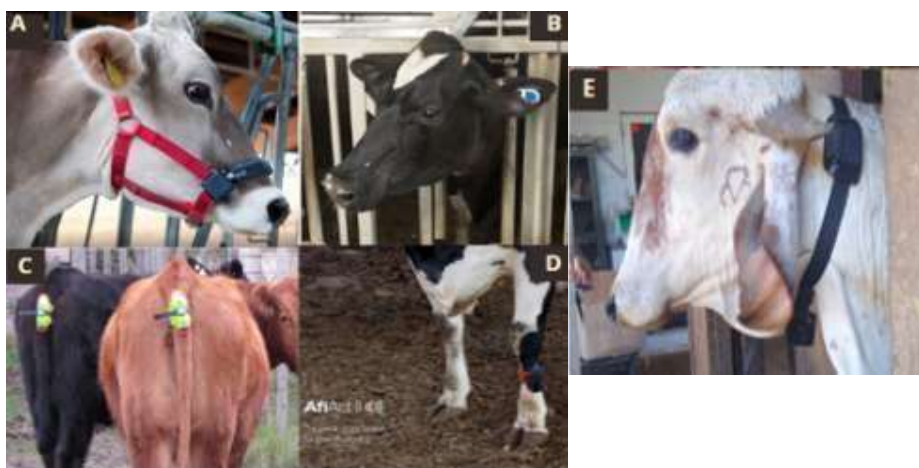


Figura 2 - Posições dos sensores acoplados no animal. A) sensor de cabresto (foto retirada no educapoint <https://www.educapoint.com.br/v2/blog/pecuaria-geral/zootecnia-precisao/>); B) Sensor de tipo brinco (foto retirada do site da allflex <https://www.allflex.global/br/2021/07/23/monitoramento-identificacao-natural-das-vacas/>); C) Sensor de cauda (foto retirada do site <https://www.moocall.com/pt/how-to-guarantee-top-performance-with-your-moocall-calving-sensor/>); D) Sensor na perna (foto retirada do site AfiAct II <https://archwaydairy.com/afiact-ii>); E) Sensor de pescoço (foto: Dra. Isabel Cristina Ferreira).

Sensores colocados na orelha, como os brincos, são os que usam os dados da temperatura para verificar as condições de saúde do animal, podendo também monitorar a

ruminação, atividade, alimentação, descanso e fornecer dados que ajudam a identificar o ciclo estral e alterações na saúde. Os sensores usados na cabeça, normalmente inseridos no cabresto, avaliam o comportamento alimentar por meio de um sensor de pressão colocado na focinheira. O sensor de pescoço, amplamente utilizado em propriedades leiteiras, captura dados sobre o consumo individual através da radiofrequência. Além disso, com sensores de acelerômetro e microfone, monitora o tempo de alimentação, níveis de atividade, e fornece informações sobre o estado de saúde e alerta de estro. Os sensores colocados por via oral, inseridos por meio do bolus no retículo- rúmen, permanecem a durante a vida toda do animal. Eles são usados para monitorar parâmetros do rúmen, como pH e temperatura, indicando mudanças no estado fisiológico do animal. Por serem sensores permanentes, suas baterias duram meses ou até mesmo anos. Sensores colocados na cauda ou vagina detectam o momento do parto, excluindo a necessidade de observação visual (LEE e SEO, 2021). Um dos objetivos de detectar o parto é diminuir os riscos e, se necessário, fazer a intervenção a tempo (DIZIER e MAILARD, 2018).

O sensor colocado na perna monitora o tempo que o animal passa deitado, em pé e o número de passos (HERLIN et al., 2021). Existem alguns tipos de sensores que detectam automaticamente o estro, como pedômetros, que monitoram os passos do animal e comparam com os registros anteriores da mesma vaca, detectando o estro devido ao aumento dessa atividade. Segundo Kamphuis et. al., (2012) e Cavalieri et. al., (2003) o monitoramento com pedômetro ou acelerômetro tem sido bem eficaz, alcançando 81,4% a 91,3% de eficiência na detecção do estro. Durante o estro, o comportamento de aceitar a monta e o aumento no número de passos são os sinais mais evidentes.

O sistema de sensor de monta é sensível à pressão, e funciona por meio de uma rede sem fio conectada à região acima da cauda. O sensor envia os dados através de um transmissor com informações da data, duração e a hora que foi realizada a monta, e esses dados são automaticamente enviados para o computador do produtor (DIZIER e MAILARD, 2018). Sensores que utilizam sistemas de imagem térmica detectam a alteração de temperatura que ocorre perto do estro e na ovulação. Dependendo do fornecedor e do tipo do sensor, o peso e a vida útil da bateria podem variar. O Sensor de brinco possui uma bateria com duração de 2 a 5 anos e peso médio de 32 g, já o sensor de cabeça pesa entre 98 a 242g, com o tempo de bateria variando de 60 dias a 10 anos. O sensor de via oral possui tempo de vida útil da bateria de anos e pesa em torno de 150g, enquanto o da vagina pesa 87 g , com tempo de vida útil da bateria variando de dias a anos (LEE e SEO, 2021).

Os aparelhos conectados para a detecção do estro são baseados em medidas de atividade, hormônios e comportamento. Esses aparelhos podem ser utilizados de forma combinada ou separados, monitorando aspectos comportamentais ou fisiológicos (DIZIER e MAILARD, 2018). Dependendo do fornecedor e do sensor utilizado, a eficiência na detecção do estro pode variar conforme os parâmetros a serem mensurados. Um exemplo é o sensor da Chip Inside -Cowmed®, que detecta ruminação, atividade e ócio, sendo este um acelerômetro triaxial. O sensor trabalha com linha base de 15 dias para compreender o comportamento normal do animal. Assim, quando a vaca alterar o comportamento devido ao estro, o sensor consegue detectar e alertar através do aplicativo.

Este sistema de monitoramento compara dois comportamentos distintos: atividade e ruminação. Durante o estro, o animal aumenta a atividade, que pode ser medida pela contagem de passos ou movimentação em geral. Em contraste, o tempo de ruminação diminui à medida que o estro se aproxima. Com base nisto, o sistema identifica o estro e faz o alerta mostrando o horário de início do estro e quando deve inseminar (CECIM, 2016).

O dispositivo automatizado Aficollar (Afimilk Ltd. Kibbutz afikim, Israel), é um sistema de monitoramento que captura as informações da atividade e ruminação através do colar instalado no animal, com uma sensibilidade de 95% de detecção. Trata-se de um acelerômetro triaxial, que consegue medir a aceleração do movimento de três direções diferentes ao mesmo tempo, capturando o comportamento alimentar e de ruminação com base nos movimentos da cabeça do animal (NEETHIRAJAN, et. al., 2017). Um experimento realizado por Chanis et al. (2023) mostraram que o uso do sensor Aficollar a pasto com vacas leiteiras resultou em uma taxa de detecção de estro de 63%, diferente da observação visual realizada três vezes ao dia por 45min, que obteve uma taxa de detecção do estro de 40%. Estudos também mostraram que o tempo de alimentação e de ruminação diminui um dia antes do estro.

O pedômetro Afimilk (Ltd. Kibbutz afikim, Israel), é geralmente utilizado em sistemas freestall para auxiliar na detecção do estro. Segundo Roelofs et al. (2005) medidores de atividade de locomoção (pedômetros) possuem uma eficiência entre 51% e 87% na detecção do estro. O sistema pedômetro Afimilk monitora o número de passos e movimentos da perna do animal através de um mecanismo analógico mecânico, quando o animal movimenta a perna, a parte mecânica em movimento chega na parte mecânica estacionária, contando um passo dado. Com base no ângulo da perna do animal, o sensor também consegue registrar e monitorar a quantidade e o tempo que o animal fica deitado (SOUTO, 2018). O estro, faz com que as vacas fiquem entre 2 e 6 vezes mais ativas (REITH, 2018).

Benaissaa et al. (2020) mostraram que, ao utilizar acelerômetros de perna e pescoço juntamente com localização interna para detectar estro e parto de bovinos leiteiros, com variáveis de tempo de repouso, tempo de ruminação, distância percorrida, número de passos, teve um aumento de sensibilidade de 73- 91% em vacas em confinamento. A ruminação diminuiu 26% no dia do estro, e o tempo de descanso 23%. Schweinzer et al (2019) alcançaram uma sensibilidade de 97% e especificidade de 98% ao utilizar sensores na orelha para detectar o estro de vacas multíparas no sistema freestall.

2.2.2. Uso dos sensores na reprodução dos bovinos

Os sensores tiveram uma evolução significativa ao longo dos anos, é possível observar o crescimento desta ferramenta nas fazendas passando por várias fases de desenvolvimento descrita por diversos pesquisadores. Xu et al., (1998) utilizou sensor de pressão para detecção de estro nas vacas a pasto, o sensor de monitoramento HeatWatch foi colocado na região sacral do animal e a ativação era realizada por pressão, a partir do momento que a vaca era montada tendo uma duração contínua de pelo menos 1s o sensor era ativado, a sensibilidade obtida no experimento foi de 91%. Já os pesquisadores Verkerk et al., (2001) utilizaram o colar CowTrakker™ (Bou-Matic, EUA) em vacas holandesas a pasto. Os dados capturados pelo sensor eram baixados quando o animal se aproxima da antena que fica em pontos estratégicos por onde a vaca passa regularmente. Diferente do primeiro autor citado logo acima, Verkerk et al., (2001) teve o resultado de 81,5% na sensibilidade e 99,0 % na especificidade.

Em 2007 os pesquisadores McGowan, Burke e Jago usaram o sensor IceTag® (IceRobotics, Escócia), um pedômetro para monitorar o comportamento das vacas, comportamento de deitar, ficar em pé e de andar contabilizando o número de passos para identificar padrões indicativos de estro. Os dados obtidos pelo sensor eram armazenados e só eram baixados para o software IceTagAnalyser® através de cabo USB. A sensibilidade obtida pelos pesquisadores em três experimentos testando o IceTag ® variaram de 76 a 92,9%, mostrando que o sensor foi sensível na detecção do estro.

Michaelis et al. (2014) utilizaram o sensor de monitoramento (Heatime, SCR HR-Tag; SCR Engineers Ltd., Netanya, Israel), a observação visual e os dois métodos juntos para detectar estro de vacas leiteiras. O estudo foi realizado na Alemanha os animais ficaram instalados em sistema free stall, de acordo com os estudos a sensibilidade de AAM foi 58,9% e a observação visual 56,5% e combinação dos dois métodos de 75,0%.

Chanvallo et al.(2014) fizeram uma comparação com três tipos de sensores, utilizaram 63 vacas holandesas que ficaram confinadas durante todo o experimento, após o parto as vacas foram equipadas com 3 tipos de sensores para detectar estro, um sensor foi acoplado na perna AfiTag PM (AfiMilk, distribuído na França pela Packo France), e os outros dois foram instalados no mesmo colar o Heatime-RuminAct (AM1; SCR Engineers, distribuído na França pela Créavia SAS) e HeatPhone (AM2; Medria, França). A sensibilidade do sensor AfiTag PM foi de 71%, já do Heatime-RuminAct a sensibilidade foi de 61% e 62% para HeatPhone.

A sensibilidade obtida por Brassel et al. (2018) testando sensor de acelerômetro para detectar estros de 109 vacas leiteiras mestiças a pasto foi de 93,3%. O experimento foi na Irlanda, teve objetivo de comparar o sensor com exames ultrassonográficos dos ovários, observação visual, e concentração de progesterona no leite por 3 períodos de estro. Os autores ainda não recomendam o uso pelo alto valor dos falsos positivos, indicando mais estudos e ajustes em outras fazendas.

Schweinzer et al.,(2019) utilizando combinação de sensores (SMARTBOW, Smartbow GmbH, Weibern, Áustria) obteve sensibilidade de 97% e especificidade 98%, eles usaram vacas holandesas no sistema free stall. Schilkowsky et al., (2021) trabalharam com o sensor Smartbow; Zoetis, sensor de orelha para detectar vacas no estro e com ovulação, o estudo obteve sensibilidade de 91,6% e especificidade de 69,2%, já para ovulação como referência do estro a sensibilidade foi de 89,6% e a especificidade de 86,7%. O experimento foi realizado com vacas holandesas em lactação em sistema free stall.

A reprodução tem um impacto muito grande na produção animal. Um erro no manejo reprodutivo pode alterar drasticamente a quantidade de animais na propriedade e o número de vacas em lactação, o que afeta diretamente a renda do produtor, tanto na produção de leite quanto de corte. Ou seja, os gastos continuam altos, enquanto a renda diminui devido à redução na produção. Por isso, a importância de estar atento aos animais do rebanho. Com o avanço da pecuária de precisão, tornou-se mais fácil a prática de observar cada animal individualmente de forma criteriosa. As informações geradas de cada animal ajudam a solucionar problemas rapidamente e a evitar complicações futuras.

Com a falta de mão de obra, ou até mesmo a dificuldade de observar estro do rebanho, principalmente o noturno, os produtores vêm aderindo o uso de equipamentos tecnológicos para auxiliar na detecção individual de cada animal. Uma das ferramentas que auxiliam na detecção de estro é a fita adesiva, um adesivo sensível ao atrito que é colocado na base dorsal da cauda do animal. Quando a vaca recebe a monta, o movimento de fricção remove a cor

original do adesivo, adquirindo uma cor brilhante por baixo, indicando que o animal foi montado. Com o uso de sensores de monitoramento, torna-se desnecessário o uso de protocolos hormonais e inseminações em tempo fixo, permitindo uma produção mais natural, com menos produtos exógenos, o que pode reduzir os custos e aumentar os índices de fertilidade, por meio do estro natural.

O sistema de monitoramento possui uma grande capacidade de monitorar o desempenho reprodutivo das vacas, permitindo que o produtor dê atenção individual a cada animal durante o estro, melhorando assim o desempenho reprodutivo. Com o auxílio dos sensores, é possível observar mudanças no comportamento, como alterações na ruminação, no tempo de descanso, na ingestão de alimentos, na produção de leite e na temperatura corporal, que também pode indicar o estro (LOVARELLI et al., 2020). Alguns estudos descrevem a detecção do estro por meio dos hormônios, com a redução da progesterona no leite e no sangue. O comportamento de ficar em pé é um dos mais específicos do estro, mas é observado em apenas 60% das vacas leiteiras, juntamente com alterações no número de passos, ou seja, a atividade aumenta com o estro. Também é possível notar um aumento de temperatura corporal em torno de 0,3 °C a 0,4° C no momento do estro (DIZIER, e MAILARD, 2018).

Portanto, a validação de sensores para uso em pastagens, está sendo um processo que ainda está em desenvolvimento e isto requer pesquisas adicionais, sendo um desafio que busca alcançar resultados aceitáveis de sensibilidade e especificidade.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Centro de Tecnologia para Raças Zebuínas Leiteiras (CTZL), Embrapa Cerrados, localizado no núcleo rural Ponte Alta, no Gama, Brasília- DF (Figura 3), com aprovação de No 533.2541-1 pela Comissão de Ética de Uso de animais (CEUA). No estudo foram avaliadas 25 vacas leiteiras 5/8 Holandês x Gir (n= 13 primíparas e n= 12 múltíparas), com produção média de 14,9 kg de leite/ dia. Durante o mês de setembro, que é a época da seca, os animais receberam a alimentação no cocho com silagem de milho, além de água potável ad libitum (Figura 4). O concentrado era fornecido na proporção de 1:3 de leite produzido à base de milho e grão de soja (22% de PB e 80% de NDT).

No mês de novembro, por ser a época das chuvas na região, os animais foram mantidos em piquetes de *Panicum maximum* cv Mombaça, com lotação de 13 animais por piquete, em uma área de 16 hectares com área de piquete de 0,66 hectares, em sistema rotacionado, com suplementação de sal mineral.

A sala de espera era sem cobertura e possuía um piso de concreto com frisas. Os animais foram ordenhados com a presença do bezerro, duas vezes ao dia (manhã e tarde) com intervalo de aproximadamente 8 horas, em uma sala de ordenha com fosso, canalizada e ordenhadeira mecânica. Após a ordenha, os animais retornavam para o pasto se deslocando a 900 metros de distância.

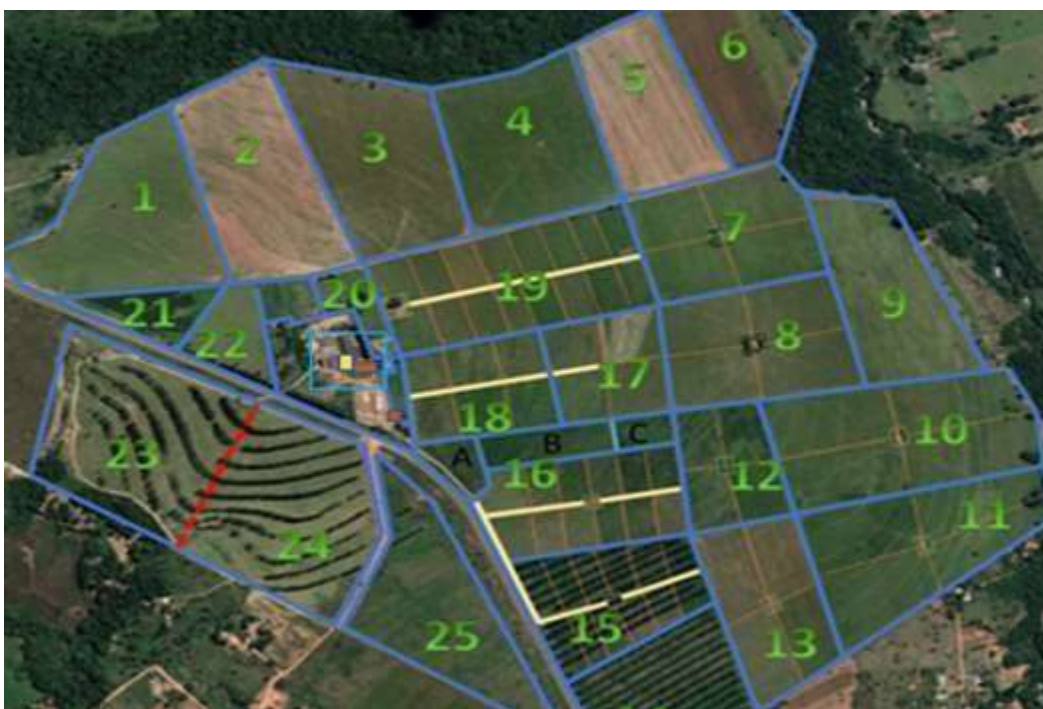


Figura 3: Mapa da fazenda. A sala de ordenha está identificada de amarelo, as antenas estão localizadas próximo à sala de ordenha e uma no corredor, identificada de laranja. Os animais ficavam nos piquetes 15 e 16.



Figura 4: Animais experimentais recebendo concentrado e volumoso no cocho.

O experimento ocorreu no período de setembro a novembro de 2021, com 2 réplicas de estros. A primeira rodada ocorreu em setembro e a segunda em novembro. Todos os animais foram submetidos ao exame ultrassonográfico, modelo HS 1500 com probe de 7.5 mHz (Honda®, Japan), e diagnosticadas vazias, sem patologias no útero e no ovário, a fim de ter a garantir que todas as vacas estavam aptas a expressarem sinais de estro durante o período experimental. Este foi o critério utilizado para a seleção dos animais. Após seis dias da manifestação do estro, foi realizado o exame de ultrassom para saber se tinha presença de CL.

Para realizar uma avaliação correta de ovulação, é necessário fazer múltiplos exames, o que pode causar estresse no animal e alterar o comportamento. Quanto menos sair da rotina melhor, por isso, o monitoramento da ovulação não foi realizada na primeira réplica. A sensibilidade e especificidade do estro foram avaliadas nas metodologias: 1) Sensores MAA, 2) Observações visuais e 3) Detector de estro por fita adesiva.

1 Sensores de Monitoramento Automatizado de Atividades- MAA

Para realizar o monitoramento do estro por meio da automação, foi necessário instalar duas antenas C-Com v3.0 IMOB e C-Com 1.0IMOB que tem acesso confiável à internet via satélite. Essas antenas, dependendo do modelo específico, possuem geralmente um diâmetro de 0,75m e 1,2m, e são resistentes ao vento de até 120 km/h e temperaturas de -30°C a mais de 60 °C. Possui alta precisão com erro de apontamento geralmente inferior a 0,2 graus. As antenas juntamente com o roteador robustos que suportam 4G LTE ou até 5G, possui um alcance de 250 metros ou mais, e foram colocadas uma antena na entrada da sala de ordenha e a outra próxima dos piquetes.

As vacas receberam os colares de pescoço (MAA) 15 dias antes de iniciar o protocolo de IATF para que fosse estabelecida a linha base, pois a coleira de monitoramento captura os dados individuais de atividade, ruminação, ócio e ofegação (Figura 5). Baseado nesses parâmetros, o algoritmo consegue identificar o padrão de comportamento de cada animal.

A coleira utiliza um acelerômetro, que é à prova d'água, e é posicionada do lado superior esquerdo do pescoço do animal. Para manter o sensor na posição desejada, um peso é colocado na parte inferior da coleira. Quando uma vaca apresenta alterações em seu padrão de comportamento, como no caso do estro, fazendo com que a vaca tenha o aumento da atividade ficando mais agitada, interagindo mais com as outras vacas, tendo como

consequência a diminuição da ruminação (Figura 6). Dessa forma, o sistema reconhece que o animal está no estro.

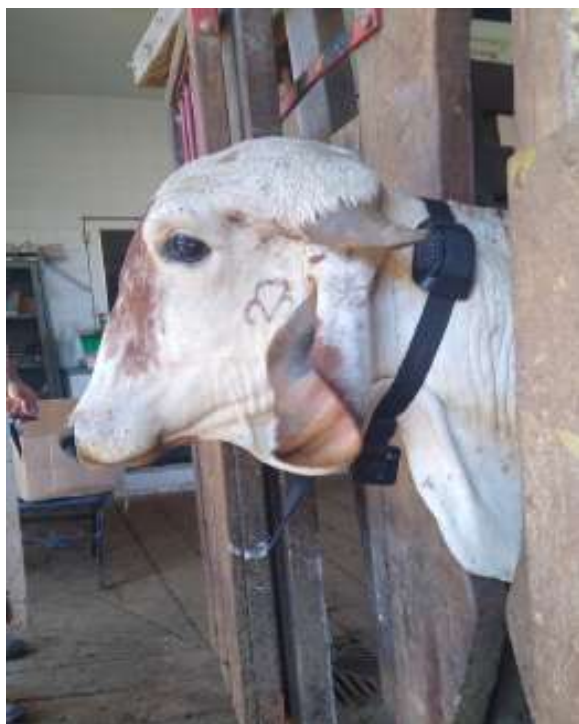


Figura 5- Vaca equipada com sensor de monitoramento.

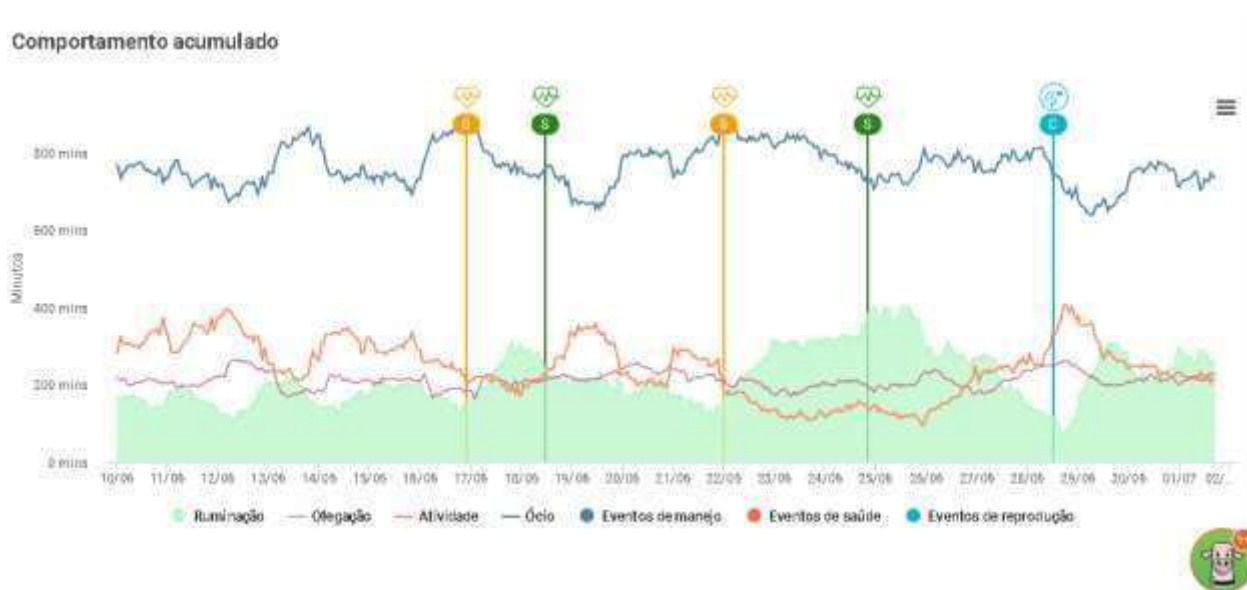


Figura 6 - Gráfico gerado pelo aplicativo, mostrando o aumento da atividade, identificado pela cor laranja, e a diminuição da ruminação, representada pela cor verde.

Com o padrão de comportamento estabelecido, o protocolo de IATF iniciou no dia 0 (D0), com aplicação de 2 ml de benzoato de estradiol e a colocação do implante vaginal de progesterona de primeiro uso. O implante foi retirado no D8, e aplicado 2 mL de prostaglandina, 2 mL de gonadotrofina coriônica equina e 1,0 mL de cipionato de estradiol. Também foi colado a fita adesiva, e nos dias D9, D10, D11, foi observado e detectado o estro (Figura 7).

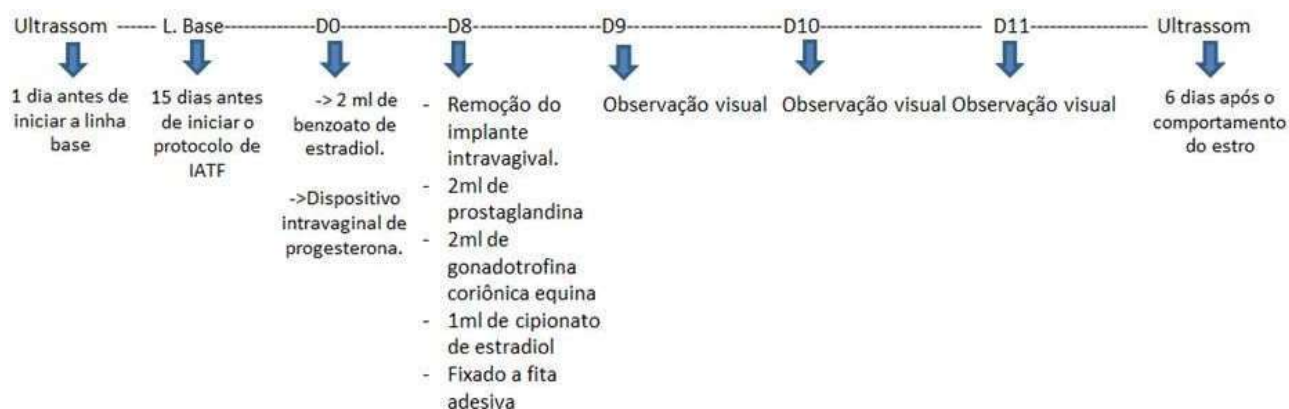


Figura 7: Representação gráfica do protocolo de IATF.

L Base= linha base da ferramenta MAA.

2 Observações visuais

A observação visual foi realizada durante 3 dias (D9, D10 e D11) no piquete, duas vezes ao dia (08:00 e 16:00 h), durante um período de 1 hora, por um único observador treinado. Foram observados sinais de comportamento de estro primário, como montar, e secundários, como corrimento claro da vulva, vaca agitada, cauda erguida, maior movimento (agitada, cheirando as demais) e se a fita adesiva tinha sido raspado.

3 Detector de estro por fita adesiva

A fita adesiva é um dos métodos que facilita a detecção do estro, mostrando visualmente os animais que aceitaram a monta através da alteração da cor do adesivo, que ocorre quando o animal é montado. Esse detector é fixado na base dorsal da cauda, transversalmente a coluna vertebral. A fita tem a cor prata na superfície, e à medida que o animal vai sendo montado essa cor prata vai sendo removida revelando a cor alaranjada. Quando a cor laranja se torna dominante, isso indica que o animal aceitou a monta várias vezes e que está no estro. No D8, antes de fixar a fita adesiva nas vacas, a fita foi mantida em um ambiente aquecido para ativar o adesivo e garantir uma boa aderência. O local de

aplicação foi escovado para remover os pelos soltos e mantido seco, logo após, o dispositivo foi fixado no local correto. Quando se observava que o adesivo estava raspado em 75% ou mais, isso indicava que o animal aceitou a monta e estava em estro (Figura 8).



Figura 8. Lote de vacas que participaram do experimento mostrando adesivo da cauda raspado em mais de 75%.

No presente estudo, para uma análise preliminar comparativa de custos, estes foram classificados em fixos e variáveis. Os custos fixos, incluíam investimentos em equipamentos de monitoramento e salários de funcionários permanentes que independem da escala de produção (número de animais monitorados). Em contra-partida, os custos variáveis, que incluíam medicamentos, bem como dispositivos utilizados para detectar o estro. Os dados foram coletados através de pesquisa de mercado com gestores e análise de relatórios financeiros.

Os resultados das observações do estro foram comparados por meio dos relatórios diários da detecção visual, do dispositivo da fita adesiva, e pela presença ou ausência de CL após seis dias da observação visual, a fim de verificar se houve detecção correta do estro pelo sistema de monitoramento. As vacas foram inseminadas na segunda rodada de avaliações.

4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para avaliar o desempenho do sistema de monitoramento, da observação visual e da fita adesiva para detecção do estro, foram calculadas no excel a sensibilidade, a especificidade, a acurácia, o valor preditivo positivo (VPP), o valor preditivo negativo (VPN), e a prevalência, conforme definições da Tabela 1. A validação estatística das respostas

reportadas pela ferramenta de monitoramento e os dados obtidos pela observação visual direta foram analisados por meio de tabelas de contingência, tabelas dinâmicas, planilhas eletrônicas. O intervalo de confiança foi analisado a um nível de 95%.

Tabela 1- Parâmetros mensurados na validação do sensor com respectiva fórmula e definição

Parâmetro	Cálculo	Definição
Sensibilidade	$VP/(VP+FN)X100$	Vacas que apresentavam estro e tinham alerta no aplicativo.
Especificidade	$VN/(TN+VP)X100$	Vacas que não apresentaram estro e não tiveram o alerta no aplicativo.
Acurácia	$VP+VN/(VP+VN+FP+FN)X100$	Proporção (percentagem) de vacas que corretamente apresentaram alerta automatizado quando mostravam estro verdadeiro ou que não apresentaram alerta, quando não tiveram estro verdadeiro.
VPP	$VP/(VP+FP)X100$	É a probabilidade de estar no estro e ter o alerta
VPN	$VN/(VN+FN)X100$	É a probabilidade de não estar no estro e não ter o alerta
Prevalência	$VP + FN/ VP + VN + FP + FN)x100$	É a proporção de vacas que realmente estão em estro em relação ao total de vacas avaliadas no experimento

VPP= valor preditivo positivo; VPN= valor preditivo negativo; VP= verdadeiro positivo; VN= verdadeiro; FP= falso positivo; FN= falso negativo. Os dados dos sensores foram validados em relação à observação visual, corpo lúteo (CL) e fita adesiva utilizados como metodologia de referência.

5 RESULTADO E DISCUSSÃO

O estudo avaliou a sensibilidade, especificidade, acurácia, VPP, VPN e prevalência. Os dados do sistema de monitoramento automatizado de atividade animal foram validados em relação à observação visual, ao corpo lúteo (CL) e a fita adesiva, usados como metodologia de referência. O experimento iniciou com 38 animais, porém 25 vacas permaneceram durante todo o estudo de observação. Os dados de 13 vacas foram retirados do experimento devido a duas variáveis individuais: a primeira foi a falha do colar acoplado no animal, resultando em 9 animais que não cumpriram os 15 dias de linha base; a segunda foi a presença de cisto em 4 vacas.

Em média, a sensibilidade das três metodologias de referência, observação visual, fita adesiva e CL foi respectivamente de: 85,1%, 82,9% e 72%. A especificidade do método visual e do corpo lúteo foi de 66,7%, enquanto a da fita adesiva foi de 28,6%. A acurácia foi de 64% para o método visual, 72% para o corpo lúteo e 74,4% para o adesivo. Devido ao fato de o experimento ter ocorrido em épocas diferentes e com mudanças no manejo, observou-se que a acurácia, sensibilidade e especificidade variaram em função das condições de manejo, que naturalmente se alteram ao longo do ano. Os resultados do experimento estão sendo apresentados separados em réplicas nas tabelas 2 e 3.

Durante o experimento, na réplica 1, o percentual de vacas que estavam em estro e foi alertada pelo sistema MAA variou de 69,6 a 72,7% nos três diferentes metodologia de referência, (16/22) CL, (17/24) visual e (16/23) fita adesiva, porém dentro do intervalo de confiança das três diferentes metodologia de referência testados. Na réplica 2, o percentual de alerta pelo MAA foi de 100% para as duas metodologia, (18/18) fita adesiva e (23/23) visual, a avaliação do CL não foi realizada nesta réplica pois os animais foram inseminados. A especificidade foi de 100% a 66,7%, CL (2/3), visual (1/1), fita adesiva (1/1), na segunda réplica a especificidade variou de 16,7% a 50% sendo fita (1/6) e visual (1/2) (Tabela 2).

A hipótese inicial do estudo era de que o sistema de sensor de pescoço seria tão eficaz quanto os métodos tradicionais de detecção de estro, como a observação visual e o método de raspagem de adesivo, na identificação precisa do estro em vacas a pasto. Com base nos resultados obtidos, a hipótese foi parcialmente confirmada.

Tabela 2- Desempenho do sensor de monitoramento automatizado de atividade para detecção do estro em vacas girolando a pasto comparado as diferentes metodologia de referência nas réplicas 1 e 2.

Metodologia de referência	Nº	Réplica	Se	Ep	Ac
CL	25	1	72,7% (55,3-90,2%)	66,7% (48,2-85,1%)	72% (54,4-89,65)
Visual	25	1	70,8% (53-88,7%)	100% (100-100%)	33,3% (14,9-51,85)
	25	2	100% (100-100%)	50% (30,4-69,6%)	96% (88,3-100%)
Fita adesiva	25	1	69,6% (51,2- 88%)	100% (100-100%)	70,8% (52,6-89%)
	25	2	100% (100-100%)	16,7% (1,8-31,6%)	79% (62,9-95,4%)

N= Número de animais por réplica; Se= Sensibilidade; Ep= Especificidade; Ac= Acuracia; CL= Corpo luteo.

Os resultados indicaram que o sistema de sensor apresentou variação na acurácia entre as réplicas (Tabela 3). Na primeira réplica, a acurácia variou de 70,8% a 72%, enquanto na segunda réplica variou de 79% a 96%. Observou-se que, na primeira réplica, o sistema foi menos sensível do que na segunda, e a especificidade foi menor na segunda réplica. A confirmação parcial da hipótese sugere que o uso de sensores de pescoço pode ser uma alternativa válida, especialmente em situações onde a observação visual é dificultada, como durante o período noturno ou em condições de pastagem extensiva.

Vários fatores podem ter contribuído para esses resultados. A baixa porcentagem de especificidade na segunda réplica indica a presença de falsos positivos. O dispositivo testado neste estudo foi validado para ambientes confinados, e o uso em animais a pasto está sendo avaliado para possíveis ajustes, se necessário. Geralmente, em confinamento, os animais recebem uma dieta no cocho, o que pode intensificar o comportamento de estro devido à

presença de mais fêmeas em uma área menor, em comparação com os animais em pasto, que têm uma área maior e passam mais tempo pastando e ruminando (Roelofs et al. 2010).

Animais a pasto andam mais, o que pode influenciar em falsos alertas de estro, pois o algoritmo foi desenvolvido para capturar comportamentos de animais em confinamento, mesmo considerando os 15 dias da linha de base, o que pode ser que os 15 dias de linha base não foram suficientes para capturar o comportamento normal do animal. Além disso, no pasto, o aumento da atividade para pastejo e o deslocamento para a ordenha podem desencadear falsos alertas de estro devido ao aumento da atividade, sem que o animal esteja necessariamente no estro. Observamos muitos falsos alertas no momento em que as vacas se deslocavam para a ordenha devido ao deslocamento que elas ficam muito agitadas e apresentam mais o comportamento de montar.

Durante o experimento, houve um total de 44% (11/25) de alertas ocorridos após as 18h, teve uma porcentagem baixa porém ocorreu, o que pode explicar os falsos positivos. Um dos desafios da observação visual é a detecção do estro noturno, pois, durante a noite, a temperatura é mais agradável e os animais expressam mais o comportamento de monta, dificultando a visualização, já que dificilmente há uma pessoa responsável por monitorar os animais à noite. Um estudo realizado por Peralta et al. (2005) mostrou que o comportamento de estro é 60% mais frequente à noite do que durante o dia, quando ocorre apenas 40% dos casos. Embora as observações visuais tenham sido realizadas em dois períodos do dia, entre 08:00 e 16:00, as vacas que manifestam estro durante a noite não puderam ser detectadas por este método.

A baixa taxa de prenhez é uma das desvantagem dos falsos alertas, pois um alto valor de falso positivo faz com que o produtor insemine no momento errado, elevando custos com sêmen, tempo e mão-de-obra, além de diminuir a eficiência reprodutiva e gerar frustração ao produtor. Por isso, é fundamental que o sensor tenha alta sensibilidade e precisão (Benaissaa et al., 2020) . Um sensor com alta sensibilidade, elimina diagnóstico de estro ser negativo, já os testes muito específicos são úteis para confirmar estros se forem positivos. A prevalência na primeira réplica variou de 88% a 100% e na segunda réplica de 75% a 92% (Tabela 3). Observamos que a observação visual obteve maior porcentagem, indicando que a maioria das vacas estava em estro, o que valida a eficácia dos sensores na detecção do comportamento de estro. Roelofs et al.(2010) descreve que para fazer comparações de detecção de estro com a observação visual é necessário que tenha a duração, frequência, tempo e comportamento descritos detalhadamente, pois as taxas de detecção de estro varia de acordo com estas variáveis. A taxa da observação visual na detecção do estro pode variar de 38% a 89%, mas

um observador geralmente consegue detectar em torno de 50 a 60% das vacas em estro, o que vai depender do tempo e frequência de cada observação e dos sinais do estro, porém com a diminuição da mão de obra e o aumento do rebanho, conseqüentemente tem afetado na observação visual (Heersche e Nebel., 1994; At-Taras EE, Spahr., 2001; e Lucy., 2001).

O VPP neste estudo variou de 94,1% a 100% na primeira réplica e na segunda réplica foi de 78,3% a 95,8% (Tabela 3). Kamphius et al., (2011) considera um desempenho médio de Se e VPP de 80%, levando em consideração os níveis de sensibilidade relatado dos outros autores para o sistema de detecção de estro automatizado, o que indica que o sensor utilizado neste estudo tem um forte potencial na detecção de vacas leiteiras a pasto. Nosso experimento trabalhou com estro induzido, e há uma diferença do sistema de detecção, pois vacas com estro induzido apresentam uma maior quantidade de hormônios. Isso ocorre porque, além dos hormônios fisiológicos, elas também recebem hormônios exógenos, resultando em níveis mais altos de hormônios. Além disso, a presença de mais vacas em estro simultaneamente altera completamente a dinâmica dos animais, deixando-as mais agitadas e com maior atividade.

Os falsos negativos podem ter ocorrido porque os animais não alteraram seu comportamento com a magnitude suficiente para gerar um alerta (atividade física e ruminação), mesmo tendo ovulado. Ou seja, a intensidade ou força do estro pode não ter sido suficiente para ser detectada. Nesses casos de pouca intensidade de movimentos, fatores como a hierarquia social no grupo podem estar relacionados. Vacas dominadas podem apresentar movimentos mais discretos, ficando mais isoladas e não interagindo com as outras vacas. Além disso, embora a claudicação não tenha sido um fator neste estudo, o peso corporal também pode dificultar a expressão do comportamento de estro.

Ainda se tem poucas pesquisas que trabalham com o MAA a pasto para vacas leiteiras, é válido ressaltar que cada propriedade tem uma particularidade e cada estudo monitora um parâmetro e tem um tipo diferente de ferramenta. O sistema foi criado para sistema intensivo, e praticamente não tem mudanças ao longo do ano, é um sistema muito constante. Existem vários autores que utilizaram sensores de diferentes empresas e sistemas distintos, o que impede uma comparação linear entre eles. Além disso, os resultados devem ser relativizados, pois as diferenças podem ser atribuídas não apenas às condições do experimento, mas também ao uso de equipamentos e algoritmos diferentes.

Tabela 3- Valor preditivo positivo, valor preditivo negativo, e prevalência da primeira e segunda replica do experimento.

Metodologia de referência	Nº	Réplica	VPP	VPN	Prevalência
CL	25	1	94,1% (84,9-100%)	25% (84,9-100%)	88% (75,3-100%)
Visual	25	1	92% (81,4-100%)	91,7% (80,8-100%)	100% (100-100%)
	25	2	95,8% (88-100%)	100% (100-100%)	92% (81,4-100%)
Fita adesiva	25	1	100% (100-100%)	12,5% (0,0-25,7%)	95% (87,8-100%)
	25	2	78,3% (61,8-94,8%)	100% (100-100%)	75% (57,7-92,3%)

N= Número de animais por réplica; VPP= Valor preditivo positivo; VPN= Valor preditivo negativo; CL= Corpo lúteo

A detecção do estro pelo MAA para as vacas primíparas na primeira réplica foi de 69,2% (9/13), enquanto para as multíparas foi de 66,6% (8/12). Na segunda réplica, as primíparas apresentaram 92,3% (12/13) e as multíparas 100% (12/12). Chanis et al., (2023), relatam que vacas primíparas e as com até três lactações apresentaram alta probabilidade de expressar o estro, diferente das vacas com mais de quatro lactações. McDougall, (1994) e Burke et al., (1995) relatam que o comportamento do estro não foi detectável após o parto, de 11% a 13% na segunda ovulação e de 0 a 17% na terceira ovulação, o que pode ter ocorrido neste experimento. Infere-se que ocorreu a ausência do comportamento do estro, mesmo a vaca tendo ovulado, esta suposição pode ter resultado no falso negativo. Pois ao não ser notado o comportamento do estro, subestima o desempenho de detecção do sensor e da observação visual.

A pecuária de precisão serve para auxiliar o produtor e não para substituí-lo na tomada de decisão (Bahlo et al., 2019; Lindblom et al., 2017). Ao fazer uso da tecnologia na

propriedade é necessário que o produtor tenha confiança no produto, eles devem ser conhecidos com resultados de alta exatidão e precisão, mesmo que por algum motivo ainda não sentem seguros para tomar uma decisão indicada pelo ferramenta (Van Hertem et al., 2017 e Rojo-Gimeno et al., 2019).

Foi realizado um levantamento dos valores atualizados com os métodos de detecção de estro utilizado neste experimento. O custo variável inclui o valor que o observador receberá por fazer a observação visual, neste experimento como foi observado 25 vacas, em dois períodos do dia durante uma hora por três dias, totalizando 6 horas de observação o valor ficou por aproximadamente R\$54,54, este método requer atenção constante e tempo. A fita adesiva também é um custo variável e está em torno de R\$13,96 reais/adesivo por animal, uma cartela de 50 adesivos custa 698 reais, o custo total para 25 vacas é de 349,00 reais, é um método fácil de colocar. Como foi realizado o protocolo de IATF os hormônios custaram em torno de R\$403,64 para as 25 vacas. O custo fixo inclui o aluguel do MAA, cada colar custa R\$ 32,84/ mês durante os 2 primeiros anos por animal, e muda para R\$23,00/ mês a partir do terceiro ano até o quinto ano, ou seja, o aluguel da coleira para 25 vacas saiu por 800,00 reais. Este método além de ter o monitoramento contínuo e os dados em tempo real do manejo reprodutivo fornece ainda os dados de saúde e nutricional, o equipamento consegue detectar alterações na saúde antes mesmo de ser observado visivelmente e o produtor consegue intervir antes que a doença avance, diferente dos outros métodos que só detecta o estro.

Com relação ao custo benefício, a observação visual possui o menor valor entre os métodos aqui citados, estando ciente que é necessário ter um observador treinado e que o estro pode acontecer noturno ou não ter comportamento devido a ovulação sem manifestação do estro. A fita adesiva oferece um custo único por animal, é fácil de aplicar porém tem a possibilidade de não ser bem colocado e acabar perdendo, não sendo possível ver se o animal aceitou a monta ou não. O sensor MAA apesar do custo da ativação, oferece um custo de operação mensal de R\$15,00 por coleira, além de fornecer dados contínuos e precisos, o proprietário tem assistência contínua e treinamento para poder utilizar a ferramenta, porém necessita de uma boa internet na propriedade.

Kamphius et al (2011) demonstram que a indicação de uma ferramenta deve ter resultado equivalente ao que o produtor obtém com detecção visual, adesivos na cauda ou protocolo. Nesse sentido, a indicação de uma ferramenta depende do nível de adoção de tecnologia na propriedade e de seus resultados de eficiência reprodutiva.

De acordo com os resultados obtidos neste experimento, a acurácia, sensibilidade e especificidade são fundamentais para a aplicação prática do sistema. Este estudo fornece uma

base sólida para melhorias futuras e para a adoção do sistema em fazendas leiteiras extensivas, visando maximizar a eficiência reprodutiva e a produtividade do rebanho.

6 CONCLUSÃO

Os resultados mostram que o MAA tem eficiência similar aos métodos convencionais de detecção do estro. Este experimento indica que o sistema de monitoramento a pasto funcione como um auxiliar na detecção do estro, devido aos falsos positivos até que o sistema e algoritmo sejam ajustados corretamente.

REFERÊNCIAS

AT-TARAS, E.E; SPAHR, S. L. Detection and characterization of estrus in dairy cattle with an electronic heatmount detector and an electronic activity tag. **Journal Dairy Science**, v. 84, n.4, p. 792-798, 2001. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(01\)74535-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(01)74535-3)

BAHLO, C. *et al.* The role of interoperable data standards in precision livestock farming in extensive livestock systems: a review. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.156, p. 459-466, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.12.007>.

BANDIGA, L. *et al.* Effects of climatic and management factors on conception rate of dairy cattle in subtropical environment. **Journal Dairy Science**, v.68, n. 1, p. 78-85, 1985. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(85\)80800-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(85)80800-6)

BENAISSA, S. *et al.* Calving and estrus detection in dairy cattle using a combination of indoor localization and accelerometer sensors. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 168, p. 105-153, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.105153>

BRASSEL, J. *et al.* Automated oestrus detection using multimetric behaviour recognition in seasonal-calving dairy cattle on pasture. **New Zealand Veterinary Journal**, v. 66, n. 5, p. 246-247, 2018. <https://doi.org/10.1080/00480169.2018.1479316>

BRUNASSI, L.A, *et al.* Improving detection of dairy cow estrus using fuzzy logic. **Scientia Agricola**, v.67, n.5, p.503-509, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162010000500002>

BURKE, C. R; MCDUGALL, S; MacMILLAN, K. L. Effects of breed and calving liveweight on postpartum ovarian activity in pasture-fed dairy heifers. **Proc. of the New Zealand Society of Animal Production**, v. 55, p. 76-78, 1995. Disponível em: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.nzsap.org/system/files/proceedings/1995/ab95026.pdf

BURNETT, T. A, *et al.* Integrating an automated activity monitor into an artificial insemination program and the associated risk factors affecting reproductive performance of dairy cows. **Journal Dairy Science**, v. 100, n. 6, p. 5005- 5018, 2017. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-12246>

CAETANO, G. A. O; JÚNIOR, M. B.C. Métodos de detecção de estro e falhas relacionadas. **Pubvet**, v. 9, n. 8, p. 348-399, 2015. <https://doi.org/10.22256/pubvet.v9n8.381-393>

CAVALIERI, J. *et al.* Comparison of four methods for detection of oestrus in dairy cows with resynchronised oestrous cycles. **Australian Veterinary Journal**, v. 81, n.7, p. 422-425, 2003. <https://doi.org/10.1111/j.1751-0813.2003.tb11553.x>

CAVESTANY, D. *et al.* Oestrus behavior in heifers and lactating dairy cows under a pasture-based production system. **Veterinary Quarterly**, v.30, suppl. 1, p. 10-34, 2008. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/291992338_Oestrus_behavior_in_heifers_and_lactating_dairy_cows_under_a_pasture-based_production_system

CECIM, M. 2016. Monitoramento de bem-estar e saúde em rebanhos leiteiros. In: 3º **Simpósio Nacional da Vaca Leiteira**. Anais. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. p.65-99. Disponível em: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www2.ufpel.edu.br/nupeec/anexos/5d60e57a40.pdf

CERRI, R. L. A. *et al.* Symposium review: Linking activity-sensor data and physiology to improve dairy cow fertility. **Journal Dairy Science**, v. 104, n. 1, p. 1220-1231, 2021. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17893>

CHANIS, E. Q, *et al.* Tecnologia de precision como herramienta para incrementar la eficiencia reproductiva de vacas lecheras em pastoreo. **Revista investigaciones agropecuarias**, v.5, n. 2, p. 28-44, 2023. Disponível em : <https://up-rid.up.ac.pa/6598/1/3290>

CHANVALLON, A. *et al.* Comparison of three devices for the automated detection of estrus in dairy cows. **Theriogenology**, v.82, n. 5, p. 734-741, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2014.06.010>

CHEBEL, R. C; VERONESE, A. Associations between genomic merit for daughter pregnancy rate of Holstein cows and metabolites postpartum and estrus characteristics. **Journal Dairy Science**, v. 103, n. 11, p. 10754-10768, 2020. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18207>

DASH, S, *et al.* Effect of heat stress on reproductive performances of dairy cattle and buffaloes: A review. **Veterinary World**, v. 9, n. 3, p. 235-244, 2016. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2016.235-244>

DE SOUZA, B.B. *et al.* Termorregulação em ruminantes. **Revista Agropecuária Científica no Seminário (ACSA)**, v. 11, n.2, p. 39-42, 2015. <http://dx.doi.org/10.30969/acsa.v11i2.674>.

DISKIN, M.G; SCREENAN, J. M. Expression and detection of oestrus in cattle. **Reproduction Nutrition Development**,v. 40, n. 5, p. 481-491, 2000. <https://doi.org/10.1051/rnd:2000112>

DIZIER, M.S; MAILARD, S.C. Potential of connected devices to optimize cattle reproduction. **Theriogenology**, v.112, p. 53-62, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2017.09.033>

DOBSON, H, *et al.* The high-producing dairy cow and its reproductive performance. **Reproduction in Domestic Animals**, v. 42, p. 17-23, 2007. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0531.2007.00906.x>

ESTES, K.S; PADMANABHAN, V; CONVEY, E.M. Localization of gonadotropin releasing hormone (GnRH) within the bovine hypothalamus. **Biol Reprod**, v.17, p.706-11, 1977. <https://doi.org/10.1095/biolreprod17.5.706>

FERREIRA, A. M. Reprodução da fêmea bovina: Fisiologia aplicada e problemas mais comum (causas e tratamentos). 1º ed Edição do Autor, 2010. p. 422 . Editora Associada.

FERGUNSON, J. D. *et al.* . Infertility in dairy cattle fed high percentage of protein degradable in the rumen. **JAVMA**, v.192, n.5, p.659-662, 1988. Disponível em : <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/3372318/>

GALINA, C. S; ORIHUELA, A.; RUBIO, I. Reproductive physiology in zebu cattle, characteristics related to estrous expression and performance of bulls utilized in natural mating. In: Congresso Brasileiro de Reprodução Animal, v. 11, p. 46-61. 1995, Belo Horizonte. **Anais.** Belo Horizonte: CBRA.

GONÇALVES, P.B.D; FIGUEIREDO, J.R; FREITAS, V.J.F. Biotécnicas aplicadas à reprodução animal. 2ª. ed., Roca, São Paulo, 395 p., 2008.

GWAZDAUSKAS, F.C; THATCHER, W. W; WILCOX, C. J. Physiological, environmental, and hormonal factors at insemination which may affect conception. **Journal Dairy Science**, v. 56, n. 7, p. 873- 877, 1973. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(73\)85270-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(73)85270-1)

HAFEZ, E.S.E. Reprodução animal. 4.ed. São Paulo : Manole, 1982. 720p.

HAHN, G.L; MADER, T,L and EIGENBERG, R.A. Perspectives on development of thermal indices for animal studies and management. **In Proc. Symp. Interactions between Climate and Animal Production** ,v,7, p. 31-44, 2003. https://doi.org/10.3920/9789086865178_004

HARRIS, B.L, *et al.* . Improving the power of activity- based heat detection using additional automatically captured data. **Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production**, v. 70, p. 299- 302, 2010. <https://www.researchgate.net/publication/259042983>

HEIN, K. G; ALLRICH, R.D. Influence of exogenous adrenocorticotrophic hormone on estrous behavior in cattle. **Journal Dairy Science**, v. 70, n. 1, p. 243-247, 1992. <https://doi.org/10.2527/1992.701243x>

HELMER, S. D; BRITT, J.H. Mounting behavior as affected by stage of estrous cycle in Holstein heifers. **Journal Dairy Science**, v. 68, n. 5, p. 1290-1296, 1985. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(85\)80959-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(85)80959-0)

HEERSCHE, G. J; NEBEL, R.L. Measuring efficiency and accuracy of detection of estrus. **Journal Dairy Science**, v. 77, n. 9, p.2754-2761, 1994. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(94\)77218-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(94)77218-0)

HERLIN, A. *et al.* Animal Welfare Implications of Digital Tools for Monitoring and Management of Cattle and Sheep on Pasture. **Animals (Basel)**, v. 11, n. 3, p. 829, 2021. <https://doi.org/10.3390/ani11030829>

HERTEM, V. T. *et al.* Appropriate data visualization is key to Precision Livestock Farming acceptance. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 138, p. 1-10, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.04.003>

HULSEN, J. *Cow Signals. A Practical Guide for Dairy Farm Management.* Rood Bont Publishers, Zutphen, Netherlands. 2011.

HURNIK, J.F; KING, G.J; ROBERTSON, H.A. Estrous and related behavior in postpartum Holstein cows. **Applied Animal Ethology**, v. 2, p. 55-68, 1975. [https://doi.org/10.1016/0304-3762\(75\)90065-6](https://doi.org/10.1016/0304-3762(75)90065-6)

KAMPHUIS, C. *et al.* Field evaluation of 2 collar-mounted activity meters for detecting cows in estrus on a large pasture-grazed dairy farm. **Journal Dairy Science**, v. 95, n. 6, p. 3045- 3056, 2011. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4934>

LEE, M; SEO, S. Wearable Wireless Biosensor Technology for Monitoring Cattle: A Review. **Animals (Basel)**, v. 11, n. 10, p. 2779, 2021. <https://doi.org/10.3390/ani11102779>

LEW, B.J; MEIDAN, R; WOLFENSON, D. Concentrações hormonais e desenvolvimento folicular de vacas leiteiras em hipertermia sazonal e aguda. **Arquivo Brasileiro de medicina veterinária e zootecnia**, v. 58, n. 5, p. 816-822, 2006. <https://doi.org/10.1590/S0102-09352006000500017>

LOVARELLI, D; BACENETTI, J; GUARINO, M. A review on dairy cattle farming: Is precision livestock farming the compromise for na environmental, economic and social sustainable production?. **Journal of Cleaner Production**, v. 262, p. 121409, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121409>

LOPEZ, H; SATTER, L.D; WILTBANK, M. C. Relationship between level of milk production and estrous behavior of lactating dairy cows. **Animal Reproduction Science**, v.81, n. 3-4, p. 209-223, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2003.10.009>

LINDBLOM, J. *et al.* Promoting sustainable € intensification in precision agriculture: review of decision support systems development and strategies. **Precision. Agriculture**, v. 18, n. 3, p. 309-331, 2017. <https://doi.org/10.1007/s11119-016-9491-4>

LUCY, M. C. Reproductive loss in high-producing dairy cattle: where will it end? **Journal Dairy Science**, v. 84, n. 6, p. 1277-1293, 2001. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(01\)70158-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(01)70158-0)

MAATJE, K; LOEFFLER, S. H; ENGEL, B. Predicting optimal time of insemination in cows that show visual signs of estrus by estimating onset of estrus with pedometers. **Journal Dairy Science**, v. 80, n. 6, p. 1098- 1105, 1997. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(97\)76035-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(97)76035-1)

MACMILLAN, K.L; THATCHER, W. Effects of an agonist of gonadotropin-releasing hormone on ovarian follicles in cattle. **Biol Reprod**, v.45, p.883-9, 1991. <https://doi.org/10.1095/biolreprod45.6.883>

MADUREIRA, A. M. *et al.* Factors affecting expression of estrus measured by activity monitors and conception risk of lactating dairy cows. **Journal Dairy Science**, v. 98, n. 10, p. 7003- 7014, 2015. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-9672>

MAGGIONI, D. *et al.* Efeito da nutrição sobre a reprodução de ruminantes: uma revisão. **Pubvet**, v. 2, n. 11. 2008. Disponível em: <<http://www.pubvet.com.br/texto.php?id=174>>.

McGOWAN, J. E; BURKE, C.R; JAGO, J. Validation of a technology for objectively measuring behaviour in dairy cows and its application for oestrous detection. **New Zealand Society of Animal Production**, v. 67, p. 136- 142, 2007. Disponível em : <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.nzsap.org/ym/ab07024.pdf>

MICHAELIS, I; BURFEIND, O; HEUWIESER, W. Evaluation of oestrous detection in dairy cattle comparing an automated activity monitoring system to visual observation. **Reproduction in Domestic Animals**, v. 49, n. 4, p. 621- 628, 2014. <https://doi.org/10.1111/rda.12337>

MCDOUGALL, S. **Postpartum anoestrus in the pasture grazed New Zealand dairy cow: a thesis presented in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy, Department of Veterinary Clinical Sciences, Massey University.** 1994. Tese de Doutorado. Massey University.

NEETHIRAJAN, S; TUTEJA,S.K.; Huang, S.-T.; KELTON, D. Recent advancement in biosensors technology for animal and livestock health management. *Biosens. Bioelectron.* **2017**, *98*, 398–407. Disponível em : <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956566317304633>

O'CONNOR, M. I. Heat detection and timing of insemination for cattle. State College: The Pennsylvania State University, (Extension Circular, 402),1993. Disponível em : HeatDetec.CX NEW7/13/99 (umanitoba.ca). Disponível em : [HeatDetec.CX_NEW7/13/99 \(umanitoba.ca\)](http://umanitoba.ca/HeatDetec.CX_NEW7/13/99).

PERALTA, O. A; PEARSON, R. E; NEBEL, R. L. Comparison of three estrus detection systems during summer in a large commercial dairy herd. *Animals Reproduction Science*, v. 87, n. 1-2, p. 59-72, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2004.10.003>

PETER, A.T. *et al.* Compilation of classical and contemporary terminology used to describe morphological aspects of ovarian dynamics in cattle. *Theriogenology*, v. 71, n. 9, p. 1343-1357, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2008.12.026>

PIRES, A.V; RIBEIRO, C.V; MENDES, C. Q. Aspectos nutricionais relacionados à reprodução. In: BERCHIELLI, T.T.; PIRES, A.V.; OLIVEIRA, S.G. Nutrição de ruminantes. Jaboticabal: FUNEP, 2011. p.537-559.

RANDEL, R. D. Unique reproductive traits of Brahman based cows. In: FIELDS, M. J., SAND, R.S. Factors affecting calf crop. CRC Press: Florida, 1994. P. 23-43.

REITH, S; HOY, S. Review: Behavioral signs of estrus and the potential of fully automated systems for detection of estrus in dairy cattle. *Animal*, v.12, n. 2, p. 398-407, 2018. <https://doi.org/10.1017/S1751731117001975>

ROBINSON, J.J. *et al.* Nutrition and fertility in ruminant livestock. *Animal Feed Science and Technology*, v.126, n. 3-4, p. 259-276, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2005.08.006>

ROELOFS, J.B. *et al.* Various behavioral signs of estrous and their relationship with time of ovulation in dairy cattle. *Theriogenology*, v. 63, n. 5, p. 1366-1377, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2004.07.009>

ROELOFS, J. *et al.* When is a cow in estrus? Clinical and practical aspects. **Theriogenology**, v. 74, n. 3, p. 327-344, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2010.02.016>

ROJO- GIMENO, C. *et al.* Assessment of the value of information of precision livestock farming: A conceptual framework. **NJAS: Wageningen Journal of Life Sciences**, v.90–91, n. 1, p. 1–9. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2019.100311>

SARTORI, R. *et al.* Fertilization and early embryonic development in heifers and lactating cows in summer and lactating and dry cows in winter. **Journal Dairy Science**, v. 85, n. 11, p. 2803-2812. 2002. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(02\)74367-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74367-1)

SARTORI, R; PURSLEY, J.R; WILTBANK, M. C. Estrous cycle of heifers and lactating dairy cows: ovarian and hormonal dynamics and estrous cycle abnormalities. Large Dairy Herd Management. Section 7: Reproduction and reproductive management. Tradução . Champaign, IL: American Dairy Science Association, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3168/ldhm.0736>

SAMMAD, A. *et al.* Dairy cow reproduction under the influence of heat stress. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, v. 104, n. 4, p. 978-986, 2020. <https://doi.org/10.1111/jpn.13257>

SANTOS, G.T; PRADO, I.N; BRANCO, A.F. Aspectos do manejo do gado leiteiro especializado. Universidade Estadual de Maringá. 1993:. 23p. (Apontamentos, 22).

SEPÚLVEDA, N.; RODERO, E. Comportamiento sexual durante el estro en vacas lecheras. *Interciencia*, v. a28, n. 9, p. 500-503, 2003. Disponível em : <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33908402>

SCHILKOWSKY, E. M. *et al.* Evaluation and characterization of estrus alerts and behavioral parameters generated by an ear-attached accelerometer-based system for automated detection of estrus. **Journal Dairy Science**, v. 104, n. 5, p. 6222-6237, 2021. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19667>

SCHILLO, K.K. Effects of dietary energy on control of luteinizing hormone secretion in cattle and sheep. **Journal Animal Science**, v. 70, n. 4, p. 1271-1282, 1992. <https://doi.org/10.2527/1992.7041271x>

SCHWEINZER, V. *et al.* Evaluation of an ear-attached accelerometer for detecting estrus events in indoor housed dairy cows. **Theriogenology**, v. 130, p. 19-25, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2019.02.038>

SENGER, P. Pathways to pregnancy and parturition. 2ed. Washington: Current Conceptions, 2003.

SOUTO, P. F. M. P. *et al.* Aplicações da intensidade do estro de novilhas holandesas determinada por monitoramento automatizado. 2018. Tese Doutorado. Universidade Federal Rural de Pernambuco

TANEJA, M. *et al.* SmartHerd management: A microservices-based fog computing-assisted IoT platform towards data-driven smart dairy farming. **Jornal Software**, v. 49, n. 7, p. 1055-1078, 2019. <https://doi.org/10.1002/spe.2704>

THATCHER, W.W; COLLIER, R. J. Effects of climate on bovine reproduction. In: D.A. Morrow (Ed.), Current therapy in theriogenology, 2nd ed., (pp. 301 - 309). Philadelphia: W.B. Saunders, 1986.

VAILES, L. D; BRITT, J. H. Influence of footing surface on mounting and other sexual behaviors of estrual Holstein cows. **Journal Animal Science**, V. 68, N. 8, P. 2333-2339, 1990. <https://doi.org/10.2527/1990.6882333x>

VALENTIM, J. K. *et al.* Fatores Nutricionais Aplicados à Reprodução de Ruminantes. **UNICIÊNCIAS**, [S. l.], v. 23, n. 2, p. 77-82, 2019. <https://doi.org/10.17921/1415-5141.2019v23n2p77-82>

VERKERK, G. A. *et al.* CowTrakker technology for improved heat detection. **Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production**, v. 61, p. 172-175, 2001. Disponível em : <chromeextension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.nzsap.org/system/files/proceedings/2001/ab01050.pdf>

WEST, J.W; MULLINIX, B. .; BERNARD, J. K. Effects of hot, humid weather on milk temperature, dry matter intake, and milk yield of lactating dairy cows. **Journal Animal Science**, v. 86, n. 1, p. 232-242, 2003. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73602-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73602-9)

WILTBANK, M. *et al.* Changes in reproductive physiology of lactating dairy cows due to elevated steroid metabolism. **Theriogenology**, v, 65, n. 1, p. 17-29, 2006.
<https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2005.10.003>

WOLFENSON D *et al.* Effect of heat stress on follicular development during the estrous cycle in lactating dairy cattle. *Biology of reproduction*, v. 52, n. 5, p.1106-13. Doi: 10.1095/biolreprod52.5.1106.

WOLFENSON, D; ROTH, Z; MEIDAN, R. Impaired reproduction in heat-stressed cattle: basic and applied aspects. **Animal Reproduction Science**, v.60-61, p. 535-547, 2000.
[https://doi.org/10.1016/S0378-4320\(00\)00102-0](https://doi.org/10.1016/S0378-4320(00)00102-0)

XU, Z. Z. *et al.* Estrus detection using radiotelemetry or visual observation and tail painting for dairy cows on pasture. **Journal Dairy Science**, v. 81, n. 11, p. 2890-2896, 1998.
[https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(98\)75849-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(98)75849-7)