

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
GOIANO – CAMPUS RIO VERDE  
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

**FATORES ASSOCIADOS À EFICIÊNCIA REPRODUTIVA DE  
VACAS LEITEIRAS COM O USO DE UM SISTEMA  
AUTOMATIZADO DE MONITORAMENTO DE ATIVIDADE-**

Autora: Letícia Ribeiro Marques

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Karen Martins Leão

Coorientadores: Dr<sup>a</sup>. Thaisa Campos Marques e Prof.

Dr. Marco Antônio Pereira da Silva

Rio Verde – GO

Agosto – 2021

**FATORES ASSOCIADOS À EFICIÊNCIA REPRODUTIVA DE  
VACAS LEITEIRAS COM O USO DE UM SISTEMA  
AUTOMATIZADO DE MONITORAMENTO DE ATIVIDADE-**

Autora: Letícia Ribeiro Marques

Orientadora: Profa. Dra. Karen Martins Leão

Coorientadores: Dra. Thaisa Campos Marques e

Prof. Dr. Marco Antônio Pereira da Silva

Dissertação apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM ZOOTECNIA, ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde - Área de concentração Zootecnia.

Rio Verde – GO

Agosto – 2021

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP  
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
**Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano**

M357f Marques, Leticia Ribeiro  
Fatores associados a eficiência reprodutiva de vacas leiteiras com o uso do sistema automatizado de monitoramento de atividade / Leticia Ribeiro Marques; orientadora Karen Martins Leão; co-orientadora Thaisa Campos Marques. -- Rio Verde, 2021.  
79 p.

Dissertação (Mestrado em Zootecnia) -- Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2021.

1. Eficiência reprodutiva. 2. Observação de cio. 3. Sistema automatizado de monitoramento de atividade. I. Leão, Karen Martins, orient. II. Marques, Thaisa Campos, co-orient. III. Título.



**INSTITUTO FEDERAL**  
Goiano

**Repositório Institucional do IF Goiano - RIIIF Goiano**  
**Sistema Integrado de Bibliotecas**

**TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS  
NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO**

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

**Identificação da Produção Técnico-Científica**

- Tese  Artigo Científico  
 Dissertação  Capítulo de Livro  
 Monografia - Especialização  Livro  
 TCC - Graduação  Trabalho Apresentado em Evento  
 Produto Técnico e Educacional - Tipo: \_\_\_\_\_

Nome Completo do Autor: Láticia Ribeiro Marques

Matrícula: 2019102310240060

Título do Trabalho: FATORES ASSOCIADOS A EFICIÊNCIA REPRODUTIVA DE VACAS LEITEIRAS COM O USO DO SISTEMA AUTOMATIZADO DE MONITORAMENTO DE ATIVIDADE

**Restrições de Acesso ao Documento**

Documento confidencial:  Não  Sim, justifique: O documento possui a redação de dois artigos científicos em sua íntegra, um já publicado, outro ainda em trâmites. Por este motivo não pode ser disponibilizado, para que não haja a configuração de plágio.

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIIF Goiano:   /  /  

O documento está sujeito a registro de patente?

Sim  Não

O documento pode vir a ser publicado como livro?

Sim  Não

**DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA**

O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiro, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumprir quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Rio Verde, 13/08/2012.

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:

Assinatura do(s) orientado(s)



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA  
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
GOIANO - CAMPUS RIO VERDE  
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA**

**FATORES ASSOCIADOS A EFICIÊNCIA REPRODUTIVA DE VACAS LEITEIRAS COM O  
USO DO SISTEMA AUTOMATIZADO DE MONITORAMENTO DE ATIVIDADE**

Autora: Letícia Ribeiro Marques  
Orientadora: Karen Martins Leão

TITULAÇÃO: Mestre em Zootecnia - Área de Concentração em  
Zootecnia/Recursos Pesqueiros.

APROVADO em 28 de junho de 2021.

Dr. Tiago do Prado Paim  
Avaliador interno  
IF Goiano/Rio Verde

Dr. Tiago Pereira Guimarães  
Avaliador interno  
IF Goiano/Rio Verde

Dr<sup>a</sup>. Maria Lucia Gambarini  
Meirinhos  
Avaliadora externa  
UFG/Goiânia

Dr<sup>a</sup>. Karen Martins Leão  
Presidente da banca  
IF Goiano/Rio Verde

Documento assinado eletronicamente por:

- Tiago Pereira Guimaraes, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 28/06/2021 16:59:23.
- Maria Lucia Gambarini Meirinhos, Maria Lucia Gambarini Meirinhos - Professor Avaliador de Banca - Universidade Federal de Goiás (01567601000143), em 28/06/2021 16:58:34.
- Tiago do Prado Paim, MEDICO VETERINARIO, em 28/06/2021 16:57:43.
- Karen Martins Leao, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 28/06/2021 16:55:08.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 24/06/2021. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 283898  
Código de Autenticação: 81ad7a436f



## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pela vida e por ter me proporcionado chegar até aqui.

À minha orientadora Dr.<sup>a</sup> Karen Martins Leão e à minha coorientadora Dr.<sup>a</sup> Thaisa Campos Marques, pela oportunidade, pela orientação, por toda a paciência e ensinamentos transmitidos a mim ao longo desses anos.

À minha mãe Lilian Fernandes Ribeiro, que sempre foi meu alicerce, minha incentivadora, acreditando em mim, me apoiando incondicionalmente e tornando possível todas as minhas decisões.

Agradeço também ao meu pai Romes Marques e ao meu avô Lourival Marcelino Marques, já falecidos, mas que sempre foram a minha força e a minha inspiração, e sempre pensando neles busquei fazer o meu melhor.

À minha irmã Ludymilla Ribeiro Marques, por todos os momentos compartilhados e ajudas oferecidas a mim, para que eu pudesse concretizar mais essa formação. Ao meu filho Lorenzo Marques Marchiotti, que sempre foi a minha força e incentivo para buscar o melhor para minha vida acadêmica e profissional.

Ao meu padrasto Rodrigo Fanini Stefani, pelo apoio que sempre me deu e que nunca mediu esforços para me ajudar a chegar até aqui.

Os meus agradecimentos cabem também à minha madrinha Tanice Marques Martins e à minha prima Dayane Marques Martins, que, com seus conselhos, incentivos e acolhimentos em todos os momentos me permitiram manter-me de pé e me fortaleceram para chegar ao fim dessa jornada.

Aos colegas do Laboratório de Reprodução Animal - IF Goiano, pela ajuda nas escritas acadêmicas e companheirismo.

Aos meus amigos da cidade de Itumbiara, que sempre estiveram comigo, apesar da distância, dispostos a me ouvir, aconselhar e incentivar no meu crescimento pessoal e profissional.

À família Marchiotti, em especial Michael Paes Marchiotti e Claudia Cristhina Paes Marchiotti, que com o apoio primordial e ajuda me permitiram chegar ao final dessa jornada.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, pela oportunidade de desfrutar desta pós-graduação. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de mestrado.

Enfim, a todos aqueles que presenciaram meus anos de estudo e que me apoiaram, fosse com atitudes diretamente ligadas à conclusão desta formação ou fosse com palavras motivadoras e apoio para eu nunca desistir, meus sinceros agradecimentos.

## **BIOGRAFIA DA AUTORA**

LETÍCIA RIBEIRO MARQUES, filha de Romes Marques e Lilian Fernandes Ribeiro, irmã de Ludymilla Ribeiro Marques e mãe de Lorenzo Marques Marchiotti. Nascida em 26 de julho de 1995 na cidade de Uberlândia – Minas Gerais. Ingressou no curso de Bacharelado em Zootecnia no primeiro semestre de 2014 no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde. Durante a graduação, atuou como bolsista PIBIC/CNPq na área Aquicultura e na área de Cunicultura sob orientação do Prof. Dr. Adriano Costa Carvalho. No segundo semestre de 2018, concluiu sua graduação. Em 2019 ingressou no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia na mesma instituição de formação, em nível de mestrado, na área de concentração Melhoramento e Reprodução Animal, sob a orientação da Prof<sup>ª</sup>. Dra. Karen Martins Leão. E em maio de 2021, concluiu o Mestrado em Zootecnia.



## ÍNDICE GERAL

ÍNDICE DE TABELAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE SIGLAS E ABREVIATURAS .....	xiii
RESUMO GERAL.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
CAPÍTULO I – CONSIDERAÇÕES GERAIS .....	16
INTRODUÇÃO GERAL.....	16
1. REVISÃO DE LITERATURA.....	18
Resumo.....	19
Abstract.....	19
Resumen.....	20
1. Introdução.....	20
2. Metodologia.....	21
3. Revisão de literatura.....	22
3.1 Fisiologia do ciclo estral.....	22
3.2 Expressão e detecção do estro.....	24
3.3 Biotecnologias para sincronização de estro e/ou ovulação.....	32
3.4 Associação de tecnologias.....	35
4. Considerações finais .....	35
5. Referências.....	36
6. OBJETIVOS.....	53
6.1 Gerais.....	53
6.2 Específicos.....	53
CAPÍTULO II – FATORES ASSOCIADOS À EFICIÊNCIA REPRODUTIVA DE VACAS LEITEIRAS COM O USO DE UM SISTEMA AUTOMATIZADO DE MONITORAMENTO DE ATIVIDADE .....	54
RESUMO.....	54
ABSTRACT.....	55
1. INTRODUÇÃO.....	56

2. MATERIAL E MÉTODOS.....	57
2.1. Vacas e alojamento.....	57
2.2. Parâmetros do periparto.....	57
2.3. Secreção vaginal pós-parto.....	58
2.4. Sistema automatizado de monitoramento animal (SAMA) .....	58
2.5. Manejo reprodutivo e sincronização para inseminação artificial.....	58
2.6. Coleta de dados produtivos e metereológicos.....	59
2.7. Análise estatística.....	60
3. RESULTADOS.....	60
4. DISCUSSÃO.....	65
5. CONCLUSÃO.....	70
5. REFERÊNCIAS.....	70

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Variáveis utilizadas nos modelos de regressão logística stepwise para prenhez à primeira inseminação artificial (IA) de todas as vacas do estudo (Modelo 1, n=1054) e apenas de vacas saudáveis (Modelo 2, n=509) .....	61
Tabela 2. Média e erro padrão das variáveis ambientais no dia da inseminação artificial: temperatura ambiente (T) mínima, máxima e média, umidade relativa do ar (UR) e índice de temperatura e umidade (ITU) mínimo, máximo e médio nas diferentes estações do ano durante o período avaliado.....	62
Tabela 3. Modelo de regressão logística stepwise para prenhez à primeira inseminação artificial (IA) em vacas primíparas (n=393) e multíparas (n=661), avaliando o momento da IA pelo SAMA de acordo com a estação do ano e a presença de doenças no periparto.....	63
Tabela 4. Razão de probabilidade de prenhez à primeira inseminação artificial aos 30 dias em relação à categoria, retenção de placenta, secreção vaginal por Metrichick® (Muco: B (pouco material purulento), C (mucopurulento), D (50% ou mais de pus) e E (marrom-avermelhada aquosa fétida), doença (periparto), estação do ano comparada com a primavera e atividade, nota de estro e hora da IA do SAMA.....	64
Tabela 5. Influência da estação do ano e do tipo de sincronização (estro por prostaglandina; protocolo de sincronização de estro e ovulação) na prenhez à primeira inseminação artificial aos 30 dias em 509 vacas saudáveis por modelo de regressão logística stepwise.....	64
Tabela 6. Razão de probabilidade de prenhez à primeira inseminação artificial aos 30 dias de vacas saudáveis em relação às estações do ano em comparação com a primavera, nota do estro, atividade do SAMA e sincronização com PGF.....	65

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Relação da produção de leite (kg/d) com a duração do cio (h).....	25
Figura 2.	Local de aplicação do sensor de monta (a) e o dispositivo Kamar® aplicado (b).....	27
Figura 3.	<i>Tailpaint</i> no momento da aplicação na base da cauda.....	28
Figura 4.	Adesivo Estrotec® fixado na vaca e suas mudanças de coloração.....	29
Figura 5.	Exemplificação do funcionamento do sistema <i>HeatWatch</i> ®.....	30
Figura 6.	Vacas com pedômetro no membro anterior (a) e vacas utilizando colares com acelerômetro (b).....	31
Figura 7.	Delineamento experimental.....	59

## ÍNDICE DE SIGLAS E ABREVIATURAS

BE	Benzoato de estradiol
BEN	Balço energético negativo
CL	Corpo lúteo
DEL	Dias em lactação
E <sub>2</sub>	Estrógeno
ECC	Escore de condição corporal
EL	Escore de locomoção
FSH	Hormônio folículo estimulante
GnRH	Hormônio liberador de Gonadotrofinas
IA	Inseminação artificial
IATF	Inseminação artificial em tempo fixo
ITU	Índice de temperatura e umidade
LH	Hormônio Luteinizante
mg	Miligramas
P <sub>4</sub>	Progesterona
PGF2 $\alpha$	Prostaglandina
SAMA	Sistema automatizado de monitoramento de atividade
T	Temperatura
UR	Umidade relativa
®	Marca registrada

## RESUMO GERAL

A detecção precisa do estro e a inseminação artificial (IA) em um tempo assertivo são fundamentais para aumentar a eficiência reprodutiva e os lucros de uma granja leiteira. Objetivou-se com este trabalho identificar o efeito de fatores ambientais, estação do ano, paridade, saúde no periparto, protocolos de sincronização do estro e/ou ovulação, momento de inseminação artificial, nota de estro e touro, com uso do sistema de monitoramento de atividade animal (SAMA) sobre a taxa de prenhez após a primeira IA pós-parto em 1.054 vacas leiteiras da raça holandesa, criadas em sistema *free stall* de uma granja leiteira comercial brasileira. As taxas de prenhez de vacas com 50 a 56 dias pós-parto com útero involuído e presença de corpo lúteo foram avaliadas segundo a ordem de parto, tipo de sincronização para inseminação artificial (sincronização do estro por prostaglandina ou sincronização do estro e ovulação) e horário da IA após alarme do SAMA (8 horas ou 10 horas). Independentemente do tipo de sincronização, os animais foram inseminados após o alarme do SAMA e quando obtinham nota de estro acima de 30. A taxa de prenhez foi considerada após 30 dias da IA mediante exame de ultrassonografia. A análise de regressão logística do modelo stepwise foi feita para verificar a probabilidade de prenhez associada à estação do ano, horário de IA, nota de estro, tipo de sincronização para IA, touro, saúde e fatores ambientais. Ao analisar todas as vacas do presente estudo, as maiores taxas de prenhez foram obtidas com animais múltiparos, inseminados 10 horas após o alarme do SAMA, na estação do ano do outono ou inverno, com pico de atividade e nota do estro elevados. Considerando apenas as vacas saudáveis, as maiores taxas de prenhez foram encontradas na estação do outono e inverno, com estro e ovulação sincronizados por protocolo, com pico de atividade e nota do estro elevados, independentemente da paridade. Assim, a otimização dos modelos do SAMA pela inclusão de informações quanto à paridade, histórico de saúde no periparto e condição de estresse térmico pode favorecer a correta identificação do estro e aperfeiçoar o alarme do SAMA em relação ao momento ideal para a inseminação artificial, incrementando ainda mais o desempenho reprodutivo em vacas leiteiras.

**Palavras-chave:** eficiência reprodutiva, observação de cio, sistema automatizado de monitoramento de atividade.

## ABSTRACT

Accurate detection of estrus and carrying out artificial insemination (AI) at an assertive time is essential to increase the reproductive efficiency and profits of a dairy farm. The objective was to identify the effect of environmental factors, season of the year, parity, health in the peripartum, estrus and/or ovulation synchronization protocols, time of artificial insemination, estrus score and bull using animal activity monitoring system (AAM), on the pregnancy rate after the first postpartum AI in 1,054 dairy cows of the Holstein breed, raised in a free stall system of a commercial Brazilian dairy farm. Pregnancy rates of cows at 50 to 56 days postpartum with an involuted uterus and presence of corpus luteum were evaluated regarding the order of parturition, type of synchronization for artificial insemination (estrus synchronization by prostaglandin or estrous and ovulation synchronization), AI time after AAM alarm (8 hours or 10 hours). Regardless of the type of synchronization, the animals were inseminated after the AAM alarm, and when they obtained an estrus score above 30. The pregnancy rate was considered 30 days after the AI by means of an ultrasound examination. Logistic regression analysis of the stepwise model was performed to verify the probability of pregnancy associated with the season of the year, AI time, estrus score, type of synchronization for AI, bull, health and environmental factors. When analyzing all the cows in the present study, the highest pregnancy rates were obtained with multiparous animals, inseminated 10 hours after the AAM alarm, in the autumn or winter season, with high activity peaks and high estrus scores. Considering only healthy cows, the highest pregnancy rates were found in the autumn and winter season, with estrus and ovulation synchronized by protocol, with high activity peak and high estrus score, regardless of parity. Thus, the optimization of AAM models by including information on parity, health history in the peripartum and heat stress condition can favor the correct identification of estrus and improve AAM's alarm as to the ideal time for artificial insemination, further increasing plus the reproductive performance in dairy cows.

**Keywords:** automated activity monitoring system, estrus observation, reproductive efficiency.

## CAPÍTULO I – CONSIDERAÇÕES GERAIS

### INTRODUÇÃO GERAL

A reprodução dos animais leiteiros é fator determinante da lucratividade na atividade por alterar a proporção de vacas em lactação e o número médio de dias em lactação do rebanho (Carvalho et al., 2015). Assim, os produtores de leite devem maximizar a eficiência reprodutiva para terem um bom retorno econômico (Campos, 2015).

A detecção precisa do estro é a chave para a eficiência reprodutiva, pois afeta diretamente o intervalo entre partos e, conseqüentemente, a alta produção de leite (Washburn et al., 2002; Lopez et al., 2004). Por consequência, aumentar sua eficiência pode elevar significativamente os lucros de uma granja leiteira (Pecsok et al., 1994).

A inseminação artificial (IA) baseada na detecção de estro é fundamental nos programas de manejo reprodutivo de rebanhos leiteiros (Caraviello et al., 2006; Miller et al., 2007).

O método habitualmente utilizado para detecção de estro em vacas é a observação visual feita por um trabalhador. No entanto, o crescimento das granjas leiteiras e o aumento dos custos de mão de obra levaram a uma demanda por automação na produção, criando a necessidade por sistemas automatizados para monitorar os animais (Pastell et al., 2009).

Atualmente, ferramentas de precisão são utilizadas com o intuito de prever eventos, desempenhar diagnósticos e auxiliar na tomada de decisões (Ruiz-Garcia & Lunadei, 2011). Um método que vem sendo utilizado para a medição de diferentes parâmetros dos animais é o uso de colares com sensores, os quais mensuram a movimentação do animal e suas alterações de comportamento com a finalidade de fornecer dados para um manejo eficiente (Hockey et al., 2010a).

O aumento de atividade, como inquietação, montar e deixa-se montar, redução de apetite e diminuição da produção de leite é reconhecidamente associado ao estro, e sistemas automatizados foram desenvolvidos para detectar este aumento de atividade ou o momento em que o animal está apto a ser montado (Hafez, 1982; Nebel et al., 2000; Firk et al., 2002). Os monitores de atividade, através de pedômetros ou colares, têm precisão para identificar uma grande proporção de gado leiteiro em estro (Van Eerdenburg, 2008; Hockey et al., 2010a; Lovendahl & Chagunda, 2010), em associação com o momento da ovulação (Roelofs, 2008; Hockey et al., 2010b).



Dessa forma, a utilização de um sistema de monitoramento de atividade que detecta aumento da atividade animal, o que indica o estro, é vantajosa para inseminar vacas, pois aumenta a taxa de serviço e diminui os dias à primeira IA (Fricke et al., 2014).

Esse sistema é repetidamente considerado adequado para a detecção de estro e é lucrativo para a maioria das fazendas leiteiras. Analisando os benefícios econômicos dos medidores de atividade para a detecção do estro, foi constatado que o sistema automatizado proporciona uma maior detecção de estro, os monitores alcançando índices de até 80%, enquanto a observação visual tem um percentual de apenas 50%, assim aumentando a rentabilidade financeira da fazenda, sendo mais viável financeiramente investir na medição de atividade automatizada do que aumentar a quantidade de mão de obra visando à detecção visual de estro (Rutten et al., 2014).

Entre os parâmetros estimados pelos sistemas automáticos de monitoramento de atividade (SAMA), estão a ruminação, a pesagem corporal das vacas (Ambriz-Vilchis et al., 2015), o consumo de alimentos e água (Chizzotii et al., 2015) e a atividade para detecção de estro (Nebel et al., 2000).

Para aumentar a taxa de serviço e de prenhez com respeito à ineficiência da detecção do estro, existem protocolos hormonais que sincronizam a manifestação do estro e a ovulação, permitindo a inseminação artificial em tempo fixo (IATF) pelo uso de progestágenos (Baruselli et al., 2002), prostaglandinas (PGF2 $\alpha$ ) (Moreira et al., 2001; Navanukra et al., 2004), protocolos com associação de hormônio liberador de gonadotrofinas (GnRH) e PGF2 $\alpha$  (Wiltbank & Pursley 2014; Titi et al., 2010) e também pela associação de GnRH, progestágenos e PGF2 $\alpha$  (Titi et al., 2010; Odde, 1990).

Contudo, o uso de IATF após indução hormonal pode acarretar índices menores de prenhez do que aqueles com IA após a detecção do estro (Thatcher et al., 2006; Lucy, 2007). A associação de biotecnologias vem sendo implantada para aumentar a taxa de detecção de estro e, conseqüentemente, as taxas de prenhez (Neves et al., 2012).

No entanto, até o presente momento, não existem estudos feitos no Brasil sobre a associação de SAMA com protocolos hormonais de IA em vacas leiteiras. Igualmente, que o momento ideal de IA não está elucidado cientificamente, quando se utiliza o SAMA. Desta forma, objetiva-se determinar o desempenho da associação do sistema automatizado de monitoramento animal do tipo colar com diferentes protocolos hormonais na detecção de estro e da taxa de prenhez de vacas leiteiras.

## 1. REVISÃO DE LITERATURA

Revisão de literatura publicada na revista *Research, Society and Development*, v. 9, n. 7, e243974063, 2020 (CC BY 4.0). ISSN 2525-3409. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i7.4063>

Marques, LR, Almeida, JVN, Marques, TC, Guimarães, KC, Paim, TP & Leão, KM. (2020). Estrus detection and reproductive performance of dairy cows: Review. *Research, Society and Development*, 9(7):1-33, e243974063.

### **Detecção de estro e desempenho reprodutivo de vacas leiteiras: Revisão Estrus detection and reproductive performance of dairy cows: Review Detección de celo y rendimiento reproductivo de vacas lecheras: Revisión**

Recebido: 05/05/2020 | Revisado: 08/05/2020 | Aceito: 09/05/2020 | Publicado: 10/05/2020

#### **Letícia Ribeiro Marques**

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6652-6561>

Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde

E-mail: [leticiamarqueszootec@yahoo.com](mailto:leticiamarqueszootec@yahoo.com)

#### **João Vítor Nogueira Almeida**

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1236-9898>

Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde

E-mail: [jvnogueir1@gmail.com](mailto:jvnogueir1@gmail.com)

#### **Thaís Campos Marques**

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1112-6699>

Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde

E-mail: [thaisacm@hotmail.com](mailto:thaisacm@hotmail.com)

#### **Kátia Cylene Guimarães**

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8821-9709>

Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde

E-mail: [katia.guimaraes@ifgoiano.edu.br](mailto:katia.guimaraes@ifgoiano.edu.br)

#### **Tiago do Prado Paim**

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9486-7128>

Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Iporá

E-mail: [tiago.paim@ifgoiano.edu.br](mailto:tiago.paim@ifgoiano.edu.br)

**Karen Martins Leão**

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5236-7558>

Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde

E-mail: karen.leao@ifgoiano.edu.br

## **Resumo**

Objetivou-se com este estudo proceder a uma revisão de literatura sobre a detecção de estro e sua interferência no desempenho reprodutivo de rebanhos leiteiros. A detecção eficiente e precisa do estro e a inseminação artificial em um tempo assertivo são fundamentais para aumentar a taxa de detecção de estro e, conseqüentemente, a taxa de prenhez das vacas. Os métodos de detecção do estro amplamente utilizados nas fazendas não têm apresentado bons índices. Isto porque as mudanças fisiológicas e comportamentais dos animais, assim como o período da duração do ciclo estral, estão sendo expressas em baixa intensidade e curta duração. Além disso, as variáveis são muitas e de difícil mensuração. Desta forma, é de suma importância a utilização de métodos eletrônicos para melhorar a detecção do estro.

**Palavras-chave:** Observação de cio; Eficiência reprodutiva; Sistema automatizado de monitoramento de atividade.

## **Abstract**

The aim was to conduct a literature review on the estrus detection and its interference on the reproductive efficiency of dairy cattle. Efficient and accurate estrus detection of cattle and artificial insemination in an assertive time are essential to increase pregnancy rate, estrus detection rate, and consequently good reproductive efficiency. Methods of estrus detection that are widely used on farms do not have good rates. This is because the physiological and behavioral changes of the animals, as well as the period of the duration of the estrus cycle, are being expressed in low intensity and short duration. In addition, they are very variable and difficult to measure. Thus, it is of utmost importance to use electronic methods to improve estrus detection.

**Keywords:** Estrus observation; Reproductive efficiency; Automated activity monitoring system.

## Resumen

El objetivo fue realizar una revisión de la literatura sobre la detección del celo y su interferencia en el rendimiento reproductivo de los rebaños lecheros. La detección eficiente y precisa del celo y la inseminación artificial en un tiempo asertivo son esenciales para aumentar la tasa de detección de celo y, en consecuencia, la tasa de preñez de las vacas. Los métodos de detección de celo que se utilizan ampliamente en las granjas no muestran buenos índices. Esto se debe a que los cambios fisiológicos y de comportamiento de los animales, así como el período de duración del ciclo estral, se expresan en baja intensidad y corta duración. Además, son muy variables y difíciles de medir. Por lo tanto, es de suma importancia utilizar métodos electrónicos para mejorar la detección de celo.

**Palabras clave:** Observación de celo; Rendimiento reproductivo; Sistema automatizado de monitoreo de actividad.

## 1. Introdução

A detecção precisa do estro é a chave para a eficiência reprodutiva, pois afeta diretamente o intervalo entre partos e, conseqüentemente, a alta produção de leite (Caetano & Caetano Jr, 2015). Assim, aumentar sua eficiência pode elevar significativamente os lucros de uma granja leiteira (Campos & Santos, 2015).

A inseminação artificial (IA) e a transferência de embriões com base na detecção de estro são fundamentais nos programas de manejo reprodutivo de rebanhos (Baruselli et al., 2012), sendo que a expressão do estro melhora a fertilidade e diminui as perdas de prenhez em vacas leiteiras (Pereira et al., 2016).

O método mais usado para detecção de estro em vacas é a observação visual feita por um trabalhador. No entanto, o crescimento das granjas leiteiras e o aumento dos custos de mão de obra levaram a uma demanda por automação na produção, criando a necessidade de sistemas automatizados para monitorar os animais (Denis-Robichaud et al., 2016).

Atualmente, ferramentas de precisão são utilizadas com o intuito de prever eventos, desempenhar diagnósticos e auxiliar na tomada de decisões (Ruiz-Garcia & Lunadei, 2011; Denis-Robichaud et al., 2016). Um método que vem sendo utilizado para a medição de diferentes parâmetros dos animais é o uso de colares com sensores, os quais mensuram a movimentação do animal e suas alterações de comportamento, fornecendo dados para um manejo eficiente (Hockey et al., 2010a; LeRoy et al., 2018).

O aumento de atividade é reconhecidamente associado ao estro, e sistemas automatizados foram desenvolvidos para detectar este aumento de atividade ou o momento em que o animal está apto a ser montado (Michaelis et al., 2014). Os monitores de atividade, através de pedômetros ou colares, têm precisão em identificar uma grande proporção de gado leiteiro em estro (Hockey et al., 2010a; Lovendahl & Chagunda, 2010) em associação com o momento da ovulação (Hockey et al., 2010b).

Dessa forma, a utilização de um sistema automatizado de monitoramento de atividade que detecta aumento da atividade animal, o que indica o estro, é vantajosa para inseminar vacas, pois aumenta a taxa de serviço e diminui os dias à primeira IA (Fricke et al., 2014).

Entre os parâmetros estimados pelos sistemas automatizados de monitoramento de atividade (SAMA), estão a ruminação, a pesagem corporal das vacas (Ambriz-vilchis et al., 2015), o consumo de alimentos e água (Chizzotii et al., 2015), a atividade para detecção de estro (Michaelis et al., 2014) e o monitoramento de estresse térmico (Stewart et al., 2017).

Uma alternativa para aumentar a taxa de serviço e prenhez quando há ineficiência da detecção do estro é o uso de protocolos hormonais que sincronizam a manifestação do estro e ovulação, pois permitem a inseminação artificial em tempo fixo (IATF). São fármacos à base de prostaglandinas (PGF2 $\alpha$ ), progestágenos, (Silva et al., 2011), associação de hormônio liberador de gonadotrofinas (GnRH) e PGF2 $\alpha$  (Wiltbank & Pursley 2014; Titi et al., 2010) e também a associação de GnRH, progestágenos e PGF2 $\alpha$  (Titi et al., 2010).

Contudo, o uso de IATF após indução hormonal pode acarretar índices menores de prenhez do que aqueles com IA após a detecção do estro (Pereira et al., 2014).

Para tanto, a associação de biotecnologias vem sendo implantada para aumentar a taxa de detecção de estro e, conseqüentemente, as taxas de prenhez (Neves et al., 2012; LeRoy et al., 2018).

Dessa forma, objetivou-se fazer um levantamento de estudos sobre a interferência da detecção de estro na eficiência reprodutiva de bovinos leiteiros. Procurou-se abordar desde a fisiologia do ciclo estral, a evolução das formas de detecção de estro até as biotecnologias utilizadas atualmente para melhor aumentar a taxa de serviço e a taxa de concepção.

## **2. Metodologia**

Este estudo trata de uma revisão exploratória e descritiva (Pereira et al., 2018), uma vez que busca conhecer melhor a influência da detecção de estro na eficiência reprodutiva de

bovinos leiteiros pelo aprofundamento dos fatores que impactam direta e indiretamente na temática.

A pesquisa dos artigos foi feita de abril de 2019 a abril de 2020 em publicações contidas nas bases de dados da Capes (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), PubMed (US National Library of Medicine National Institutes of Health), Scielo (Scientific Electronic Library Online) e Google acadêmico, utilizando os descritores estrus observation, reproductive efficiency, automated activity monitoring system, dairy cow.

Os critérios de inclusão foram artigos em português, inglês ou espanhol, disponíveis na íntegra, publicados no corte temporal dos últimos 10 anos. Exceção deste limite temporal deu-se quanto às informações referentes às bases da fisiologia da reprodução, sendo que também foram utilizados livros para descrever alguns fenômenos estabelecidos. As ilustrações, quando não encontradas em artigos, foram retiradas de sites relacionados à temática. No total foram utilizadas 119 referências.

No que diz respeito aos critérios de exclusão, foram rejeitados resumos, artigos fora da temática e não embasados em dados científicos, dissertações e teses.

### **3. Revisão de Literatura**

#### **3.1 Fisiologia do ciclo estral**

Os bovinos são animais poliéstricos cujo ciclo estral tem duração média de 21 dias. Na grande maioria dessa espécie animal, em seu ciclo estral há a emergência de duas ou três ondas foliculares, sendo que em cada onda há um grupo de folículos que cresce até ocorrerem a divergência folicular e a ovulação (Ginter, 1996).

Entretanto, alterações no número de ocorrência de ondas foliculares durante o ciclo estral estão presentes em alguns animais (Figueiredo et al., 1997). Segundo Coutinho et al. (2007), a raça Guzerá apresentou vacas com duas ondas (37,5%), três ondas (50,0%) e quatro ondas (12,5%). Já Borges et al. (2004) verificaram que 24,0% dos animais da raça Gir tiveram ocorrência de duas ondas foliculares, 68% com três e 8% com quatro.

O ciclo estral é dividido em duas fases: estrogênica ou folicular, que abrange as subfases proestro e estro; luteínica ou progesterônica, que envolve o metaestro e o diestro, encerrando na luteólise (Pansani et al., 2009). Além disso, é controlado pelo eixo hipotalâmico hipofisário através do hormônio liberador de gonadotrofinas (GnRH), do

hormônio luteinizante (LH), do hormônio folículo estimulante (FSH), do estradiol ( $E_2$ ) e da progesterona ( $P_4$ ) (Hafez & Hafez, 2004).

As gonadotrofinas, que são o FSH e o LH, são hormônios com diferentes funções. O primeiro tem a função de estimular o crescimento e desenvolvimento do folículo, já o segundo estimula a ovulação e a formação do corpo lúteo. O  $E_2$  tem a função de estimular a excreção do LH, e as  $PGF2\alpha$  atuam promovendo a luteólise, a indução do parto e a sincronização do estro (Pansini & Beltran, 2009; Wenzinger & Bleul, 2012).

Além destes, outros hormônios também são importantes no ciclo estral. A inibina, que é produzida pelos folículos, provoca um *feedback* negativo na hipófise, o que acarreta inibição da síntese e liberação de FSH, impedindo o crescimento folicular (Ginther et al., 2002).

### ***Fase folicular***

O período de proestro tem a duração média de três dias. É caracterizado pelo declínio nos níveis de progesterona, ocasionando aumento dos níveis de  $E_2$  no sangue e desenvolvimento folicular (Adams et al., 1992).

Nesta fase, o hipotálamo aumenta a produção, liberando GnRH, o qual estimula a secreção de FSH e LH pela hipófise anterior. Os altos níveis de FSH no sangue são responsáveis por induzir o desenvolvimento dos folículos imaturos, e o LH tem como função o crescimento e maturação destes folículos. À medida que vão se desenvolvendo, estimulam o aumento da produção de  $E_2$ , o qual estimula a produção e a secreção do LH, dando início à fase de estro (Sunderland et al., 1994).

O estro na vaca é marcado pela sua manifestação e dura, aproximadamente, 18 horas, a ovulação ocorrendo dez a doze horas após o final deste evento (Fraser et al., 2007). Em média, após cinco horas do início desta fase, ocorre uma onda pré-ovulatória de LH, que ocasiona um pico de LH, que é indutor da ovulação (Senger, 2003).

No período de estro, King et al. (1982) consideram que sua manifestação é induzida por elevados níveis de  $E_2$ , que promove a dilatação da cérvix, a síntese e a secreção do muco vaginal e o transporte dos espermatozoides no trato reprodutivo da fêmea. A vaca fica inquieta, monta e se deixa montar, podendo ser por macho ou por outra fêmea, tem o apetite reduzido, diminui a produção de leite e apresenta corrimento muco vaginal claro e viscoso.

### ***Fase luteínica***

A fase de metaestro dura em média três dias. É o período em que ocorre a ovulação, caracterizada pelo rompimento da membrana folicular e expulsão do ovócito. Posteriormente, a parede do folículo ovulado é colapsada e a cavidade é ocupada por linfa e sangue, dando formação ao corpo hemorrágico, que se reorganiza e forma o corpo lúteo (CL) (Salles & Araújo, 2010).

Com a presença de LH, há produção de prostaglandinas pelo folículo ovulado, necessárias para sua ruptura e liberação do ovócito. Além disso, o LH estimula e prepara as células das camadas granulosa e teca para a luteinização (Filion et al., 2001). Segundo Sartori et al. (2001), a capacidade ovulatória em vacas holandesas ocorre somente após os folículos alcançarem 10 mm de diâmetro.

O corpo lúteo é uma glândula endócrina, que, após a ovulação do folículo dominante, tem a função de sintetizar e secretar progesterona, importante na regulação do funcionamento dos órgãos genitais femininos e responsável pela manutenção da gestação, caso ocorra fecundação (Smith, 1986).

Em média, o diestro estende-se por 14 dias. Para Mello et al. (2014), o processo é iniciado no momento em que o corpo lúteo passa a ser funcional, sintetizando e secretando P<sub>4</sub>. Caso ocorra fecundação do óvulo, o corpo lúteo será mantido, e altos níveis de P<sub>4</sub> permanecerão durante a gestação.

Caso não ocorra a fecundação, o corpo lúteo irá regredir, os níveis de P<sub>4</sub> irão declinar, e assim um novo ciclo estral poderá ser iniciado. A destruição do corpo lúteo é denominada luteólise e ocorre pela ação da PGF<sub>2</sub>α.

### **3.2 Expressão e detecção do estro**

A expressão do estro é caracterizada por intensa movimentação, imobilidade durante a monta, descarga de muco vaginal, aumento na frequência de micção, comportamento homossexual e mugidos frequentes (Baruselli et al., 2007). Adicionalmente, montar, cheirar a vulva de outra vaca, descansar com o queixo nas costas de outra vaca, lambar-se, esfregar-se, apresentar sinais de agressividade e inquietação, também são sinais exibidos pelas vacas em estro (Kerbrat & Disenhaus, 2004; Roelofs et al., 2010).

A manifestação do estro pode ser influenciada por uma série de fatores, entre eles a idade (Cushman et al., 2014), fatores sociais como hierarquia (Landaeta-Hernández et al., 2004), nutrição (Omari et al., 2020), condições ambientais (Schuller et al., 2016), tipo de piso



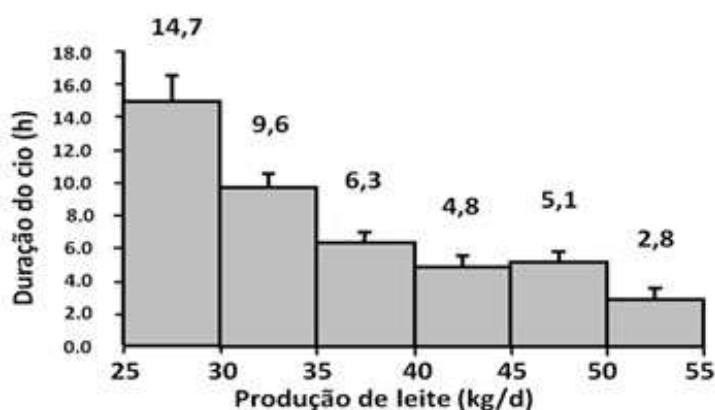
(Palmer et al., 2010), ordem de parto (Madureira et al., 2015) e produção de leite (Riviera et al., 2010; Gaillard et al., 2016).

A duração do estro pode apresentar variações. Relatos indicam que fêmeas de *Bos indicus* têm a duração do estro menor quando comparadas a fêmeas de *Bos taurus*, embora a duração do ciclo estral seja semelhante (Sauls et al., 2017; Dobson et al., 2018; Bó et al., 2003). Além disso, bovinos apresentam estro mais longo durante a estação seca do que na estação chuvosa por influência da temperatura, que pode alterar a duração e a expressão do estro, sendo que em temperaturas mais elevadas a duração do ciclo é maior (Schuller et al., 2016).

O estro induzido por hormônios tem uma duração maior do que a do estro natural, pois a dinâmica folicular se altera com a aplicação de prostaglandinas, porém de forma não muito distinta daquela do processo normal de regressão luteal ao final do ciclo estral (Uribe Velásquez et al., 2011; Fierro et al., 2013).

Ademais, a duração do estro em vacas leiteiras de alta produção é menor (Figura 1) (Wiltbank et al., 2006), ovulam folículos maiores, mas com menores concentrações de  $E_2$  em razão do alto metabolismo de estrógenos (Lopez et al., 2004; Madureira et al., 2015).

**Figura 1.** Relação da produção de leite (Kg/d) com a duração do cio (h).



Fonte: Adaptado de Wiltbank et al. (2006).

A primeira ovulação pós-parto é mais precoce em vacas com alta contagem de folículos antrais pela maior sensibilidade ao LH e maior androstenediona e produção de  $E_2$  nos folículos (Furukawa et al., 2020).

### ***Formas de detecção do estro***

A detecção do estro é um grande desafio para o sucesso do desempenho reprodutivo em granjas leiteiras. Apresenta-se frequentemente em baixos índices (30 a 50%). Entretanto, é através da exata identificação do estro que a realização da IA será eficaz, obtendo altas taxas de prenhez, podendo atingir até 80% (Reith & Hoy, 2018).

A observação visual é o método mais difundido para detecção de estro, sendo, no entanto, tedioso, acarretando altos custos trabalhistas e apresentando falhas (Brunassi et al., 2010; Reith & Hoy, 2018). Para obter um índice de 61 a 90% de eficácia nesta observação, é necessário que o trabalhador faça essa detecção em três períodos diários com duração mínima de 30 minutos (Roelofs et al., 2005; Mayo et al., 2019). Essa detecção pode ser influenciada pela hora do dia, frequência e duração da observação, além dos comportamentos que são observados (Roelofs et al., 2010).

Assim, outros métodos são utilizados para auxiliar a detectar o estro, como, por exemplo, a exposição da fêmea ao rufião ou a outras vacas, detectores de calor, medição de atividade e dispositivos ou câmeras de vídeo. O desenvolvimento de técnicas aprimoradas para identificar animais em estro promete mais sucesso e pode melhorar as taxas de detecção, especialmente se diferentes métodos forem combinados (Holman et al., 2011; Reith et al., 2017).

Roelofs & Van Erp-Van der Kooij (2015) enfatizam haver resultados divergentes entre os estudos relacionados ao desempenho de novas ferramentas de detecção de estro, mas que esses novos métodos são melhores do que a observação visual.

Rufiões são aqueles machos incapacitados de fecundar, preparados cirurgicamente ou não, mas que fazem saltos sobre as fêmeas, indicando qual apresenta comportamento de estro (Hafez & Hafez, 2004). Com a utilização desses animais em meio ao rebanho, há relatos de melhoria na eficiência da identificação de vacas no estro (Vasconcelos et al., 2015).

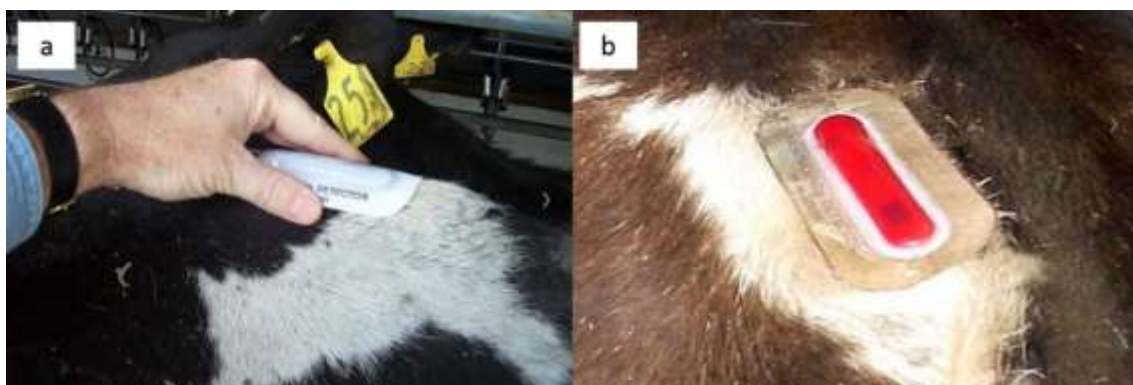
O uso de fêmeas androgenizadas, embora ultrapassado, tem a vantagem de utilizar fêmeas que pertencem ao rebanho, não necessitando adquirir outro animal (Burns et al., 1992). Doses de testosterona são administradas a uma fêmea para induzi-la a exibir uma atividade sexual semelhante à de um macho e, assim, utilizá-la na detecção de estro. As doses de testosterona podem ser administradas em diferentes níveis e meios, como por subsequentes aplicações de injeções, implantes intravaginais ou subcutâneos (Kesler, 1981). Em novilhas de corte, teve efeito na bioestimulação para antecipar a concepção de novilhas de corte (Menezes et al., 2011).

A  $P_4$  tem uma alta correlação com o estro, podendo ser medida pelo plasma sanguíneo ou no leite (Marques et al., 2014; Bruinjé et al., 2017). Na fêmea bovina vazia, quando ocorre

a lise do copo lúteo, há uma queda na concentração sanguínea da P<sub>4</sub>, acarretando uma nova ovulação. Esta queda na concentração de P<sub>4</sub> é observada no leite, estando intimamente correlacionada à concentração existente no plasma sanguíneo (Thatcher et al., 2003; Roelofs et al., 2006). Conforme Bruinjé et al. (2017), concentrações de P<sub>4</sub> abaixo de 5 ng/mL no leite indicam estro. Mayo et al. (2019) afirmam que 86,2% tiveram ovulação indicada pela aferição da progesterona, enquanto apenas 47% foram montadas durante a observação visual. A aferição de P<sub>4</sub> no leite ou no sangue para a detecção de estro não é muito utilizada em bovinos em razão dos custos relativamente altos e do trabalho que demanda, mas é atrativa em pesquisas (Sauls et al., 2017).

Outro método utilizado para a detecção do estro é o *Tailcheck*. Este método é composto por sensores de monta com sensibilidade à pressão, que são fixados na garupa da vaca, e que contêm tinta em seu interior. No momento da monta, esta tinta é liberada na garupa do animal (Veronese et al., 2017). Um detector de monta deste tipo é o Kamar<sup>®</sup> (Figura 2).

**Figura 2.** Local de aplicação do sensor de monta (a) e o dispositivo Kamar<sup>®</sup> aplicado (b).



Fonte: Adaptado de Psb Animal Health (2020).

A eficiência da detecção do estro por sistemas de monta por pressão tem precisão entre 51,3% e 89,2% (Palmer et al., 2010; Dela Rue et al., 2014; Sauls et al., 2017).

Com o mesmo intuito do *Tailcheck*, existe o *Tailpaint*, sendo, neste tipo, utilizado um bastão marcador de giz, aplicado na base da cauda do animal (Figura 3).

**Figura 3.** *Tailpaint* no momento da aplicação na base da cauda.



Fonte: Adaptado de Skenandore & Cardoso (2017).

Aqueles animais que foram montados, indicando comportamento de estro, resultam no desaparecimento total ou parcial da marca de giz do bastão (Horn et al., 2011; Dela Rue et al., 2014).

Horn et al. (2011) relataram que a eficiência de detecção de estro usando o método de pintura de cauda atingiu um índice de 75% nas vacas das raças Hereford & Brangus-Ibagé em estro.

No entanto, o método *Tailpaint* pode levar à detecção de estros falsos positivos. As marcas feitas com giz na garupa das vacas podem ser apagadas, mas esses animais não se encontram em estro, principalmente em períodos chuvosos (Caetano & Caetano Junior, 2015). Entretanto, a simples substituição formulação da tinta para uma consistência diferente como uma formulação por spray reduz este tipo de problema (Skenandore & Cardoso, 2017).

Estudos recentes relataram que o uso do adesivo Estrotec<sup>®</sup> (Figura 4) é benéfico para detectar o estro (Thomas et al., 2017). Este adesivo é um sistema de detecção de monta, que consiste na aplicação de um adesivo na garupa próximo à inserção da cauda da fêmea, e à medida que vai ocorrendo atrito pela monta, este adesivo vai mudando sua coloração (Colazo et al., 2018).

**Figura 4.** Adesivo Estrotec<sup>®</sup> fixado na vaca e suas mudanças de coloração.



Fonte: Adaptado de Ruralban (2019).

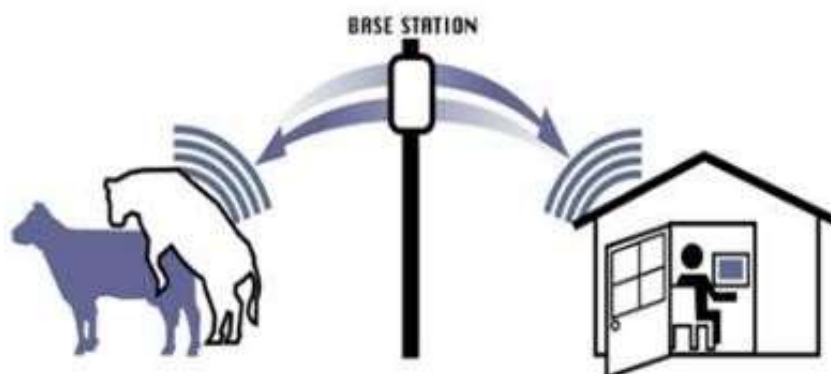
Para a correta aferição, foi estabelecido um sistema de pontuação com diferentes escores para este adesivo, possibilitando determinar a relação do estro. Estes escores variam de 0 a 4: Estrotec<sup>®</sup> com escore 0 indica que o adesivo está inalterado; 1 indica que 25% da coloração teve mudança; e 2 indica que 50% da cor foi mudada, estes escores indicam que a fêmea não se apresenta em estro. E os que apresentam escores 3 ou 4 indicam mudança de coloração superior a 75%, indicando que estas fêmeas se encontram em atividade de estro (Pohler et al., 2016).

Estudos relataram aumento das taxas de prenhez aos 30 dias por IA em fêmeas de *Bos taurus* e de *Bos indicus* que exibiram maiores escores do Estrotec<sup>®</sup>, indicando o estro, em comparação àquelas com escores menores que 2 (Franco et al., 2018; Speckhart et al., 2018).

Similarmente, a IA em bovinos de corte mostrou que, quando o Estrotec<sup>®</sup> foi utilizado para detecção de atividade de monta, obteve-se um índice de 64% de detecção, o qual foi considerado bom para indicativo de estro, e as vacas tiveram até três vezes mais chances de resultar em gestações confirmadas do que se o estro não fosse detectado antes da inseminação (Colazo et al., 2018).

O sistema eletrônico *HeatWatch*<sup>®</sup> tem por base a utilização de uma tecnologia de radiofrequência, que consiste em um pequeno transmissor ligado a um sensor de pressão, incorporado a um pressostato, colocado no pelo da região sacral da vaca, ativado pelo peso de outro animal por um mínimo de 2 segundos (Carvalho et al., 2015) (Figura 5).

**Figura 5.** Exemplificação do funcionamento do sistema *HeatWatch*<sup>®</sup>



Fonte: Heatwatch (2019).

Esses transmissores monitoram continuamente toda a atividade de monta dos animais e transmitem esses dados (identificação da vaca, data, hora e duração da monta) ao computador, onde algoritmos avançados de software examinam o perfil de monta de cada animal (Caetano & Caetano Jr, 2015).

A eficiência do sistema de radiotelemetria (*HeatWatch*<sup>®</sup>) foi comparada com a observação visual e detectou 87% e 54% de estro, respectivamente. A confirmação do estro foi feita pela observação dos sinais físicos e comportamentais relacionados ao estro, como aumento de atividade, descarga de muco vaginal e monta, e sempre que possível também era feita a palpação retal (At-Taras & Spahr, 2001).

O aumento da atividade física é um sinal secundário de um meio de associar o aumento da atividade física com o comportamento e horário de IA estro em bovinos, e sistemas eletrônicos automatizados que incorporam monitoramento de atividades como em bovinos foram desenvolvidos e comercializados para a indústria do leite (Holman et al., 2011; Jónsson et al., 2011; Valenza et al., 2012).

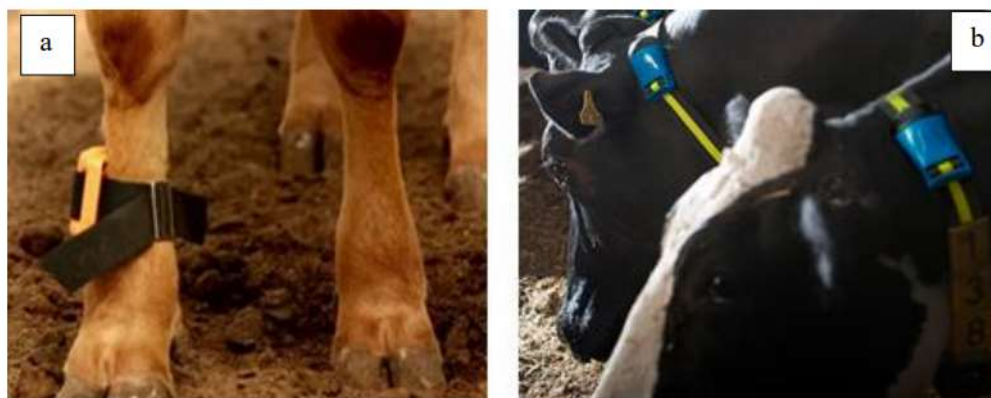
Existem comprovações que monitores de atividade são capazes de identificar com precisão a proporção de gado leiteiro em estro (Hockey et al., 2010a; Lovendahl & Chagunda, 2010). O aumento da atividade, como a movimentação e a caminhada, pode aumentar em até 342% em períodos de estro (Kerbrat e Disenhaus, 2004). Vacas alojadas em sistemas *free stall* que estão em estro apresentavam 17 movimentos por hora a mais do que aquelas que não apresentavam estro (Gaillard et al, 2016).

A vaca de alta produção leiteira tende a ter menor intensidade e duração do estro, dificultando a identificação pelo método visual (Harris et al., 2010). Por isso, os produtores

têm interesse em sistemas automatizados de monitoramento de atividade (SAMA), com a pretensão de auxiliar ou substituir a detecção de estro visual (Kamphuis et al., 2012).

Existem dois tipos de SAMA: pedômetros ou acelerômetros (Figura 6).

**Figura 6.** Vaca com pedômetro no membro anterior (a) e vacas utilizando colares com acelerômetro (b).



Fonte: Adaptado de (a) Silper & Cerri (2016); (b) SCR (2019).

Os pedômetros são sensores eletrônicos colocados em um dos membros anteriores ou posteriores do animal, que identificam e registram sua atividade física. Existem três tipos: (1) registram apenas o número de passos, (2) registram o número de passos e o tempo de repouso e (3) registram, além desses comportamentos, a temperatura corporal (Jónsson et al., 2011; Galon, 2010). Já os acelerômetros são sensores eletrônicos utilizado em colares cervicais que controlam continuamente a atividade individual de cada vaca (Valenza et al., 2012). O sensor é capaz de fornecer vários padrões de comportamento do animal além da movimentação e tempo de repouso, como alimentação, tempo de ruminação (Martiskainen et al., 2009) e estresse térmico (Abeni & Galli, 2016).

Resumidamente, para ambos os modelos de monitoramento de atividade, após ocorrerem os registros, uma antena fixada em um determinado local faz a leitura dos dados acumulados e transfere para um computador com software específico para a interpretação. Este software processa os dados e identifica automaticamente o aumento da atividade física do animal, característica de estro, indicando um intervalo de tempo em que a IA deve ser realizada (Galon, 2010).

Monitorar a atividade de vacas com acelerômetros pode detectar uma alta proporção de vacas prestes a ovular e fornecer uma boa indicação de quando a ovulação ocorrerá

(Hockey et al., 2010a). A taxa de detecção de estro pode variar de 72% a 90% com 17% a 32% de falsos positivos (Aungier et al., 2012; Aungier et al., 2015).

Neves et al. (2012), utilizando o SAMA e administração de protocolos hormonais para a detecção de estro em vacas holandesas, afirmaram que apenas 25% de um total de 1.429 fêmeas bovinas foram detectadas por observação visual.

Valenza et al. (2012) utilizaram acelerômetros e detectores de pressão do tipo Kamar® em vacas e identificaram taxa de detecção de estro de 71% e 66%, respectivamente. No estudo realizado por Fricke et al. (2014), o SAMA foi capaz de detectar até 70% das vacas em estro, enquanto apenas 55% foram detectadas pelo sistema *Tailpaint*.

O SAMA foi desenvolvido e comercializado principalmente para as granjas leiteiras com o objetivo de associar o aumento da atividade física com a expressão do estro. Conseqüentemente, determinar o momento mais propício para se realizar a IA, uma vez que o aumento da atividade física é um sinal secundário de estro em bovinos (Holman et al., 2011; Jónsson et al., 2011; Valenza et al., 2012). Segundo Hockey et al. (2010a), SAMA é um método prático e eficiente para selecionar vacas para IA em rebanhos leiteiros criados em piquetes.

### **3.3 Biotecnologias para sincronização de estro e/ou ovulação**

As biotécnicas reprodutivas ligadas à IA podem contribuir significativamente para o incremento da eficiência produtiva e reprodutiva em rebanhos bovinos (Gottschall & Silva, 2012). O melhor entendimento da dinâmica folicular ovariana bovina identificou alternativas para superar limitações ligadas à detecção de estro, utilizando protocolos de sincronização do estro e/ou ovulação (Neves et al., 2012).

Esses protocolos hormonais visam a sincronizar a manifestação do comportamento de estro com o uso de PGF2 $\alpha$  e também da ovulação mediante protocolos com associação de

GnRH, progestágenos e PGF2 $\alpha$ , o que permite a IATF (Bó & Baruselli, 2014; Martins et al., 2017).

De acordo com Ricci et al. (2020), programas reprodutivos mais intensivos que usam mais tratamentos hormonais que resultam em maior desempenho reprodutivo são mais lucrativos que os programas menos intensivos, assim permanecendo, ainda que os preços hormonais sejam extraordinariamente altos.



### *Sincronização de estro por meio de prostaglandina (PGF2 $\alpha$ )*

A prostaglandina é uma substância luteolítica empregada em bovinos para induzir a regressão do CL e conseqüentemente um estro fértil de 3 a 5 dias após o tratamento (Sauls et al., 2017), desde que seja administrada do 5º ao 16º dia do ciclo estral (McConnell's, 2016).

A PGF2 $\alpha$  está envolvida principalmente no processo de luteólise, reduzindo os níveis plasmáticos de P<sub>4</sub>, permitindo a ocorrência de uma nova ovulação. Quando se desenvolve um protocolo que contém PGF2 $\alpha$ , o intuito é encurtar o período de diestro pela lise precoce do corpo lúteo, antecipando a ovulação (Pate & Townson, 1994).

Para Sauls et al. (2017) e também Veronese et al. (2019), a taxa de concepção obtida de estro sincronizado pode variar entre 43,2 e 54,7% com uma única dose de PGF2 $\alpha$  ao primeiro serviço.

### *Sincronização de estro e ovulação*

O programa de sincronização de estro e de ovulação mais difundido no Brasil consiste num implante de material intravaginal impregnado com progestágeno, associado à aplicação de benzoato de estradiol (BE) no início do processo, com a função de provocar a emergência de uma nova onda folicular. No momento da retirada do implante intravaginal, que deve ocorrer entre o sétimo e o nono dia, deve-se administrar a aplicação de PGF2 $\alpha$  no animal, que, posteriormente, irá provocar a luteólise. Por fim, deve ocorrer a administração de BE após 24 horas da indução da aplicação de PGF2 $\alpha$  ou de GnRH/LH após 48 a 54 horas deste mesmo evento (Vasconcelos et al., 2011; França et al., 2015).

O cipionato de estradiol (CE) usado como indutor de ovulação tem possibilitado a realização de protocolos de IATF com somente três períodos de manejo, o que reduz consideravelmente os gastos com mão de obra e minimiza o estresse dos animais. O mesmo também fica biodisponível por maior tempo de forma sistêmica. Ao ser administrado juntamente com a retirada do implante de progesterona, os níveis plasmáticos são mantidos e estimulam o pico de LH após o declínio dos níveis de progesterona (Palhão et al., 2014; Pereira et al., 2016).

Segundo Sobreira et al. (2017), em um protocolo de IATF com novilhas mestiças, ao utilizar o CE no dia 8, obteve-se menor tempo para a ovulação a partir da retirada do implante. Os autores afirmam que não houve diferença na taxa de prenhez de novilhas

mestiças submetidas com CE no dia 8 com novilhas tratadas com BE no dia 9 nos protocolos de IATF. A vantagem do uso do CE é a redução no número de manejos.

Nos Estados Unidos, em decorrência da proibição do uso de estradiol em rebanhos, o protocolo hormonal mais utilizado para a IATF é a combinação de tratamentos com GnRH e PGF2 $\alpha$ . O protocolo é iniciado com uma injeção de GnRH em um estágio aleatório do ciclo estral. Sete dias depois, administra-se a PGF2 $\alpha$  e, após 48 horas, é administrada outra dosagem de GnRH. Após de 16 a 24 horas deste procedimento, o animal já está apto para a IA (Furtado et al., 2011).

O protocolo de Ovsynch consiste na inseminação em tempo prefixado, não havendo necessidade e observação de cio. O tratamento consiste na aplicação de PGF2 $\alpha$  nos animais tratados de sete em sete dias, associado ao GnRH, que induz a liberação de LH, o que induz a ovulação ou a atresia de um possível folículo dominante. Dois a três dias seguintes à aplicação do GnRH, ocorre a emergência de uma nova onda folicular. Já o Cosynch permite que a IATF seja realizada simultaneamente com a última aplicação do GnRH (Martins et al., 2017; Borchardt et al., 2018).

Entretanto, por motivo da proibição do uso de hormônios em vacas leiteiras saudáveis, a utilização da IATF atrai uma crescente oposição por criadores e consumidores, especialmente na Europa. Assim, estudos são conduzidos para identificar ferramentas para a detecção de estro que permitam um gerenciamento mais automatizado da reprodução (Saint-Dizier & ChastantMaillard, 2012), principalmente durante o período de estresse térmico, quando vacas de leite apresentarem menor eficiência reprodutiva (Schüller et al., 2014; Sammad et al., 2019).

O desempenho reprodutivo baseado no SAMA e um programa de IATF desenvolvido por Neves et al. (2012) constataram que animais que utilizavam do SAMA engravidaram mais cedo do que aqueles que foram impostos a IATF.

Neves & LeBlanc (2015), ao comparar o desempenho reprodutivo do rebanho com ou sem a utilização do SAMA, não obtiveram diferentes desempenhos reprodutivos. Entretanto, animais que utilizaram o sistema de monitoramento tiveram aumento nas taxas de inseminação e de prenhez quando comparados com aqueles submetidos a IATF, e afirmaram que o SAMA pode produzir desempenho reprodutivo comparável aos programas baseados em IATF.

### **3.4. Associação de tecnologias**

Diante dos vários métodos de detecção de estro, nenhum é totalmente eficaz, devendo ser utilizados em associação (Caetano & Caetano Jr, 2015). As taxas de detecção de estro aumentaram quando a observação visual foi utilizada em conjunto com o EstroTECT® (Bonato et al., 2012). Da mesma forma, os métodos eletrônicos de detecção de estro têm grande eficácia, principalmente quando estão associados ao método de observação visual de detecção de estro (Holman et al., 2011; Vasconcelos et al., 2015).

O uso do SAMA para fazer a IA com base no aumento da atividade diminui os dias para primeira IA, aumenta a taxa de serviço (Fricke et al., 2014), melhora as taxas de ovulação e prenhez e reduz a perda de prenhez (Madureira et al., 2019). Assim, pode ser usado estrategicamente na tomada de decisões, combinando o aumento da atividade por meio do SAMA com o momento que a vaca deve ser inseminada, seja por cio natural ou induzido.

### **4. Considerações Finais**

A falha da detecção de estro é um dos principais problemas para um bom desempenho produtivo das granjas leiteiras. Assim, identificar o estro é de suma importância para determinar o melhor momento para a inseminação artificial. Consequentemente, o rebanho irá obter um incremento na eficiência reprodutiva, possibilitando aumento do número de fêmeas em lactação e gerando maior lucratividade para o produtor.

Desta forma, métodos precisos de detecção de estro em bovinos são importantes, visto que falhas decorrentes da não identificação de estro impedem o sucesso dos programas de inseminação artificial. Neste intuito, os sistemas automatizados de monitoramento de atividade vêm demonstrando ser a melhor opção para melhorar a detecção de estro, apesar da escassez de pesquisas para elucidar melhor seus efeitos, associados a protocolos de sincronização de ovulação.

### **Agradecimentos**

CAPES e Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde.

## 5. Referências

Abeni, F, & Galli, A. (2017). Monitoring cow activity and rumination time for an early detection of heat stress in dairy cow. *International Journal of Biometeorology*, 61 (3), 417425. doi: 10.1007/s00484-016-1222-z.

Adams, GP, Matteri, RL, Kastelic, J. P, Ko, JCH & Ginther, O. (1992). Association between surges of follicle-stimulating hormone and the emergence of follicular waves in heifers. *Reproduction*, 94 (1), 177-188. doi: 10.1530/jrf.0.0940177.

Ambriz-Vilchis, V, Jessop, NS, Fawcett, RH, Shaw, DJ & Macrae, AI. (2015). Comparison of rumination activity measured using rumination collars against direct visual observations and analysis of video recordings of dairy cows in commercial farm environments. *Journal of Dairy Science*, 98 (3), 1750-1758. doi: 10.3168/jds.2014-8565.

At-Taras, EE & Spahr, SL. (2001). Detection and characterization of estrus in dairy cattle with an electronic heatmount detector and an electronic activity tag. *Journal of Dairy Science*, 84 (4), 792-798. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(01)74535-3.

Aungier, SPM, Roche, JF, Sheehy, M, & Crowe, MA. (2012). Effects of management and health on the use of activity monitoring for estrus detection in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 95 (5), 2452-2466. doi: 10.3168/jds.2011-4653.

Aungier, SPM, Roche, JF, Duffy, P, Scully, S & Crowe, MA. (2015). The relationship between activity clusters detected by an automatic activity monitor and endocrine changes during the peri-estrous period in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 98, 1666–1684. doi: 10.3168/jds.2013-7405.

Baruselli, PS, Gimenes, LU & Sales, JNDS. (2007). Fisiologia reprodutiva de fêmeas taurinas e zebuínas. *Revista Brasileira de Reprodução Animal*, 31 (2), 205-211. Retrieved May 04, 2020, from <http://www.cbpa.org.br/pages/publicacoes/rbra/download/205.pdf>

Baruselli, PS, Sales, JNS, Sala, RV, Vieira, LM. & Sá Filho, MF. (2018) History, Evolution and perspectives of timed artificial insemination programs in Brazil. *Animal Reproduction*, 9

(3), 139-152., Retrieved May 04, 2020 from <https://www.animal-reproduction.org/article/5b5a6055f7783717068b46d7/pdf/animreprod-9-3-139.pdf> .

Bó, GA & Baruselli, PS. (2014). Synchronization of ovulation and fixed-time artificial insemination in beef cattle. *Animal*, 8 (s1), 144-150. doi: 10.1017/S1751731114000822.

Bó, GA, Baruselli, PS, & Martínez, MF. (2003). Pattern and manipulation of follicular development in *Bos indicus* cattle. *Animal Reproduction Science*, 78 (3-4), 307-26. doi: 10.1016/s0378-4320(03)00097-6.

Bonato, GL, Cunha, MO, dos SANTOS, RM, & Carneiro, LC. (2012). Eficiência do EstroTECT® na identificação de estros em vacas leiteiras mestiças. *Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science*, 49 (1), 19-23. doi: 10.11606/issn.23183659.v49i1p19-23.

Borchardt, S, Schüller, L, Wolf, L, Wesenauer, C & Heuwieser, W. (2018). Comparison of pregnancy outcomes using either an Ovsynch or a Cosynch protocol for the first timed AI with liquid or frozen semen in lactating dairy cows. *Theriogenology*, 107, 21-26. doi: 10.1016/j.theriogenology.2017.10.026

Borges, AM, Torres, CAA, Rocha Júnior, VR., Ruas, JRM, Gioso, MM., Fonseca, JFD, Carvalho, GR & Maffili, VV. (2004). Dinâmica folicular e momento da ovulação em vacas não lactantes das raças Gir e Nelore durante duas estações do ano. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 56 (3), 346-354. doi: 10.1590/S010209352004400300010.

Bruinjé, TC, Gobikrushanth, M, Colazo, MG & Ambrose, DJ. (2017). Dynamics of pre-and post-insemination progesterone profiles and insemination outcomes determined by an in-line milk analysis system in primiparous and multiparous Canadian Holstein cows. *Theriogenology*, 102, 147-153. doi: 10.1016/j.theriogenology.2017.05.024.

Brunassi, LDA, Moura, DJD, Nääs, IDA., Vale, MMD, Souza, SRLD, Lima, KAOD, Carvalho, TMR & Bueno, LGDF. (2010). Improving detection of dairy cow estrus using fuzzy logic. *Scientia Agricola*, 67 (5), 503-509. doi: 10.1590/S0103-90162010000500002.

Burns, PD, & Spitzer, JC. (1992). Influence of biostimulation on reproduction in postpartum beef cows. *Journal of Animal Science*, 70 (2), 358-362. doi: 10.2527/1992.702358x.

Caetano, GADO & Caetano Júnior, MB. (2015). Métodos de detecção de estro e falhas relacionadas. *Pubvet*, 9, 348-399, Retrieved Apr 22, 2020 from <http://www.pubvet.com.br/artigo/440/meacutetodos-de-deteccedilatildeo-de-estro-e-falhashttp://www.pubvet.com.br/artigo/440/meacutetodos-de-deteccedilatildeo-de-estro-e-falhas-relacionadasrelacionadas>.

Campos, CC & Santos, RM. (2015). Conception rate and estrous return detection after TAI in Holstein cows. *Semina: Ciências Agrárias*, 36 (1), 1945-1953. doi:10.5433/16790359.2015v36n3Supl1p1945.

Carvalho, BC, Pires, M, Arbex, W, & Santos, GB. (2015). Uso de tecnologias de precisão na reprodução de bovinos leiteiros. *Cadernos Técnicos de Veterinária e Zootecnia – Embrapa Gado de Leite*, 79, Retrieved May 04, 2020, from <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1037867/1/Cnpgl2015CadTecVetZootUso.pdf>.

Cavaliere, J, Eagles, VE, Ryan, M, & Macmillan, KL. (2003). Comparison of four methods for detection of oestrus in dairy cows with synchronised oestrous cycles. *Australian Veterinary Journal*, 81 (7), 422-425. doi: 10.1111/j.1751-0813.2003.tb11553.x.

Chizzotti, ML, Machado, FS, Valente, EEL, Pereira, LGR, Campos, MM, Tomich, TR, Coelho, SG & Ribas, N. (2015). Validation of a system for monitoring individual feeding behavior and individual feed intake in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 98 (5), 34383442. doi: 10.3168/jds.2014-8925.

Colazo, MG, Whittaker, P, Macmillan, K, Bignell, D, Boender, G, de Carvalho Guimaraes, R & Mapletoft, RJ. (2018). Evaluation of a modified GnRH-based timed-AI protocol associated

with estrus detection in beef heifers inseminated with sex-selected or conventional semen. *Theriogenology*, 118, 90-95, doi: 10.1016/j.theriogenology.2018.05.037.

Cushman, RA, McDanel, TG, Kuehn, LA., Snelling, WM, & Nonneman, D. (2014). Incorporation of genetic technologies associated with applied reproductive technologies to enhance world food production. *Current and Future Reproductive Technologies and World Food Production*, 77-96. doi: 10.1007/978-1-4614-8887-3\_4.

Dela Rue, BT, Kamphuis, C, Burke, CR & Jago, JG. (2014). Using activity-based monitoring systems to detect dairy cows in oestrus: a field evaluation. *New Zealand Veterinary Journal*, 62 (2), 57-62. doi: 10.1080/00480169.2013.841535.

Denis-Robichaud, J, Cerri, RLA, Jones-Bitton, A & LeBlanc, SJ. (2016). Survey of reproduction management on Canadian dairy farms. *Journal of Dairy Science*, 99 (11), 93399351. doi: 10.1080/00480169.2013.841535.

Eradus, WJ, Rossing, W, Hogewerf, PH & Benders, E. (1992). Signal processing of activity data for oestrus detection in dairy cattle. *EAAP Publication (Netherlands)*, 64-71. Retrieved April 20, 2019, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1477867017455431>.

Fierro, S, Gil, J, Viñoles, C & Olivera-Muzante, J. (2013). The use of prostaglandins in controlling estrous cycle of the ewe: A review. *Theriogenology*, 79 (3), 399-408. doi: 10.1016/j.theriogenology.2012.10.022.

Figueiredo, RA, Barros, CM, Pinheiro, OL & Soler, JMP. (1997). Ovarian follicular dynamics in Nelore breed (*Bos indicus*) cattle. *Theriogenology*, 47 (8), 1489-1505. doi: 10.1016/S0093https://doi.org/10.1016/S0093-691X(97)00156-8691X(97)00156-8.

Filion, F, Bouchard, N, Goff, AK, Lussier, JG & Sirois, J. (2001). Molecular Cloning and Induction of Bovine Prostaglandin E Synthase by Gonadotropins in Ovarian Follicles Prior to Ovulationin Vivo. *Journal of Biological Chemistry*, 276 (36), 34323-34330. doi: 10.1074/jbc.m103709200.

Firk, R, Stamer, E, Junge, W & Krieter, J. (2002). Automation of oestrus detection in dairy cows: a review. *Livestock Production Science*, 75 (3), 219-232. doi: 10.1016/S0301https://doi.org/10.1016/S0301-6226(01)00323-26226(01)00323-2.

França, LM, Rodrigues, AS, Brandão, LGN, Loiola, MVG, Chalhoub, M, Ferraz, PA, Bittencourt, RF, Jesus, EO & Ribeiro Filho, AL. (2015). Comparação de dois ésteres de estradiol como indutores da ovulação sobre o diâmetro folicular e a taxa de gestação de bovinos leiteiros submetidos a programa de Inseminação Artificial em Tempo Fixo. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, 16 (4), 958-965. doi: 10.1590/S1519https://doi.org/10.1590/S1519-9940201500040001999402015000400019.

Franco, GA, Peres, RFG, Martins, CFG, Reese, ST, Vasconcelos, JLM, & Pohler, KG. (2018). Sire contribution to pregnancy loss and pregnancy-associated glycoprotein production in Nelore cows. *Journal of Animal Science*, 96 (2), 632-640. doi:10.1093/jas/sky015.

Fraser, C. M., Bergeron, J. A., Mays, A., & Aiello, S. E. (2007). *Manual Merck de veterinária*. São Paulo: Roca.

Fricke, PM, Giordano, JO, Valenza, A, Lopes Jr, G, Amundson, MC & Carvalho, PD. (2014). Reproductive performance of lactating dairy cows managed for first service using timed artificial insemination with or without detection of estrus using an activity-monitoring system. *Journal of Dairy Science*, 97 (5), 2771-2781. doi:10.3168/jds.2013.7366.

Furukawa, E, Masaki, T, Sakaguchi, K, Bo, M, Yanagawa, Y, Ueda, K & Nagano, M. (2020). Relationship between the timing of the first postpartum ovulation and antral follicle counts in Holstein cows. *Journal of Ovarian Research*, 13 (7), 1-9. doi:10.1186/s13048-0200610-5.

Furtado, DA, Tozzetti, DS, Avanza, MFB & Dias, LGGG. (2011). Inseminação artificial em tempo fixo em bovinos de corte. *Revista Científica Eletrônica de Medicina Veterinária*, 16, 1-25., Retrieved May 04, 2020, from: [http://faef.revista.inf.br/imagens\\_arquivos/arquivos\\_destaque/MLgHPH4uQfkcKCg\\_2013-6http://faef.revista.inf.br/imagens\\_arquivos/arquivos\\_destaque/MLgHPH4uQfkcKCg\\_2013-6-26-10-58-3.pdf26-10-58-3.pdf](http://faef.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/MLgHPH4uQfkcKCg_2013-6http://faef.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/MLgHPH4uQfkcKCg_2013-6-26-10-58-3.pdf26-10-58-3.pdf).



Gaillard, C, Barbu, H, Sørensen, MT, Sehested, J, Callesen, H & Vestergaard, M. (2016). Milk yield and estrous behavior during eight consecutive estruses in Holstein cows fed standardized or high energy diets and grouped according to live weight changes in early lactation. *Journal of Dairy Science*, 99 (4), 3134-3143. doi:10.3168/jds.2015-10023.

Galon, N. (2010). The use of pedometry for estrus detection in dairy cows in Israel. *Journal of Reproduction and Development*, 56, 48-S52. doi: 10.1262/jrd.1056S48.

Ginther, OJ, Bergfelt, DR, Beg, MA & Kot, K. (2002). Role of low circulating FSH concentrations in controlling the interval to emergence of the subsequent follicular wave in cattle. *Reproduction*, 124 (4), 475-482. doi: 10.1530/rep.0.1240475.

Gottschall, CS & Silva, LR. (2012). Resposta reprodutiva de novilhas de corte aos dois e três anos de idade submetidas a diferentes protocolos para inseminação artificial em tempo fixo (IATF). *Revista Veterinária em Foco*, 10 (1), Retrieved May 04, 2020, from <http://www.periodicos.ulbra.br/index.php/veterinaria/article/view/1162/864>.

Hafez, ESE. & Hafez, B. (2004). *Reprodução animal*. 7ª ed. Barueri: Manole, 3-12.

Harris, BL, Hempstalk, K, de le Rue, BT, Jago, JG & McGowan, JE. (2010). Improving the power of activity-based heat detection using additional automatically captured data. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production*, 70, 299-302, Retrieved May 04, 2020, from: [https://www.researchgate.net/profile/Kathryn\\_Hempstalk/publication/259042983\\_Improving\\_the\\_power\\_of\\_activity-based\\_heat\\_detection\\_using\\_additional\\_automatically\\_captured\\_data/links/00b7d529cf9c876627000000/Improving-the-power-of-activity-based-heat-detection-using-additionalautomatically-captured-data.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Kathryn_Hempstalk/publication/259042983_Improving_the_power_of_activity-based_heat_detection_using_additional_automatically_captured_data/links/00b7d529cf9c876627000000/Improving-the-power-of-activity-based-heat-detection-using-additionalautomatically-captured-data.pdf)

Heatwatch. (2019). Retrieved May 3rd, 2020, from <https://www.cowchips.net/>.

Hockey, CD, Morton, JM, Norman, ST & McGowan, MR. (2010a). Evaluation of a neck mounted 2 hourly activity meter system for detecting cows about to ovulate in two paddock based Australian dairy herds. *Reproduction in Domestic Animals*, 45 (5), 107-117. doi:10.1111/j.1439-0531.2009.01531.x.

Hockey, CD, Morton, JM, Norman, ST & McGowan, MR. (2010b). Improved prediction of ovulation time may increase pregnancy rates to artificial insemination in lactating dairy cattle. *Reproduction in Domestic Animals*, 45 (6), 239-248. doi: 10.1111/j.14390531.2009.01548.x.

Holman, A., Thompson, J., Routly, J. E., Cameron, J., Jones, D. N., Grove-White, D., Smith, R. F. & Dobson, H. (2011). Comparison of oestrus detection methods in dairy cattle. *Veterinary Record*, 169 (2), 47-47. doi:10.1136/vr.d2344.

Horn, MM., Galina, CS & Moraes, JCF. (2001). Padrões de distribuição e métodos de identificação de cios em vacas de corte submetidas à sincronização com progestágeno/prostaglandina e monta natural. *Revista Portuguesa de Ciências Veterinárias*, 96 (539), 145-149, Retrieved May 04, 2020, from [http://www.fmv.ulisboa.pt/spcv/PDF/pdf9\\_2001/Padroes.pdf](http://www.fmv.ulisboa.pt/spcv/PDF/pdf9_2001/Padroes.pdf).

Jónsson, R, Blanke, M, Poulsen, NK, Caponetti, F & Hojsgaard, S. (2011). Oestrus detection in dairy cows from activity and lying data using on-line individual models. *Computers and Electronics in Agriculture*, 76 (1), 6-15. doi: 10.1016/j.compag.2010.12.014.

Kamphuis, C, DelaRue, B, Burke, CR & Jago, J. (2012). Field evaluation of 2 collar-mounted activity meters for detecting cows in estrus on a large pasture-grazed dairy farm. *Journal of Dairy Science*, 95 (6), 3045-3056. doi: 10.3168/jds.2011-4934.

Kerbrat, S & Disenhaus, C. (2004). A proposition for an updated behavioural characterisation of the oestrus period in dairy cows. *Applied Animal Behaviour Science*, 87 (3-4), 223-238. doi: 10.1016/j.applanim.2003.12.001.

Kesler, DJ, Troxel, TR, Vincent, DL, Scheffrahn, NS & Noble, RC. (1981). Detection of estrus with cows administered testosterone via injections and/or silastic implants. *Theriogenology*, 15 (3), 327-334. doi: 10.1016/0093-691X(81)90054-6.

King, ME, Kiracofe, GH, Stevenson, JS & Schalles, RR. (1982). Effect of stage of the estrous cycle on interval to estrus after PGF<sub>2</sub> $\alpha$  in beef cattle. *Theriogenology*, 18 (2), 191-200. doi: 10.1016/0093-691X(82)90103-0.

Landaeta Hernández, AJ, Palomares Naveda, R, Soto Castillo, G, Atencio, A, Chase Jr, CC, & Chenoweth, PJ. (2004). Social and breed effects on the expression of a PGF2 $\alpha$  induced oestrus in beef cows. *Reproduction in Domestic Animals*, 39 (5), 315-320. doi: 10.1111/j.1439-0531.2004.00515.x.

LeRoy, CNS, Walton, JS & LeBlanc, SJ. (2018). Estrous detection intensity and accuracy and optimal timing of insemination with automated activity monitors for dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 101 (2), 1638-1647. doi:10.3168/jds.2017-13505.

López-Gatius, F. (2003). Is fertility declining in dairy cattle?: a retrospective study in northeastern Spain. *Theriogenology*, 60 (1), 89-99. doi: 10.1016/S0093-691X(02)01359-6.

Lopez, H, Satter, LD, & Wiltbank, MC. (2004). Relationship between level of milk production and estrous behavior of lactating dairy cows. *Animal Reproduction Science*, 81 (34), 209-223. doi: 10.1016/j.anireprosci.2003.10.009.

Lovendahl, P & Chagunda, MGG. (2010). On the use of physical activity monitoring for estrus detection in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 93 (1), 249-259. doi:10.3168/jds.2008-1721.

Machado, GV, Torres, CA, Ruas, JRM & Santos, MD. (1998). Detecção de Estro com o Auxílio de Fêmeas Androgenizadas. *Arquivos de Ciências Veterinárias e Zoologia da UNIPAR*, 1(1), 23-28. doi: 10.25110/arqvet.v1i1.1998.612.

Madureira, AM, Polsky, LB, Burnett, TA., Silper, BF, Soriano, S, Sica, AF, Pohler, KG, Vasconcelos, JLM & Cerri, RLA. (2019). Intensity of estrus following an estradiolprogesterone-based ovulation synchronization protocol influences fertility outcomes. *Journal of Dairy Science*, 102 (4), 3598-3608. doi:10.3168/jds.2018-15129.

Madureira, AML, Silper, BF, Burnett, TA, Polsky, L, Cruppe, LH, Veira, DM, Vasconcelos, JLM & Cerri, RLA. (2015). Factors affecting expression of estrus measured by activity monitors and conception risk of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 98 (10), 7003-7014. doi:10.3168/jds.2015-9672.

Martins, JPN, Acevedo, MJT, Cunha, TO, Piterini, C & Pursley, JR. (2017). The effect of presynchronization with prostaglandin F<sub>2</sub> $\alpha$  and gonadotropin-releasing hormone simultaneously, 7 d before Ovsynch, compared with Presynch-10/Ovsynch on luteal function and first-service pregnancies per artificial insemination. *Journal of Dairy Science*, 100 (6), 5107-5116. doi: 10.3168/jds.2016-11628.

Martiskainen, P, Järvinen, M, Skön, JP, Tiirikainen, J, Kolehmainen, M & Mononen, J. (2009). Cow behaviour pattern recognition using a three-dimensional accelerometer and support vector machines. *Applied Animal Behaviour Science*, 119 (1-2), 32-38. doi: 10.1016/j.applanim.2009.03.005.

Marques, TC, Leão, KM, Oliveira Viu, MA & Sartori, R. (2014). The effects of progesterone treatment following artificial insemination on the reproductive performance of dairy cows. *Tropical Animal Health and Production*, 46 (2), 405–410. doi:10.1007/s11250-013-0504-2.

Mayo, LM, Silvia, WJ, Ray, DL, Jones, BW, Stone, AE, Tsai, IC & Heersche, G. (2019). Automated estrous detection using multiple commercial precision dairy monitoring technologies in synchronized dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 102 (3), 2645-2656. doi:10.3168/jds.2018-14738.

McConnell's, P. (2016). *The Agricultural Notebook*. London, England: Elsevier.

Mello, RRC, Ferreira, JE, Mello, MRB & Palhano, HB. (2015). Aspectos da dinâmica folicular em bovinos. *Agropecuária Científica no Semiárido*, 10 (4), 01-06. doi: 10.30969/acsa.v10i4.570.

Menezes, LM, Brauner, CC, Pimentel, MA, Moraes, JCF & Amaral, FA. (2011). Desempenho reprodutivo de novilhas de corte expostas a diferentes métodos de bioestimulação. *Archivos de Zootecnia*, 60 (232), 1347-1350. doi: 10.4321/S0004http://dx.doi.org/10.4321/S0004-0592201100040005405922011000400054.

Michaelis, I, Burfeind, O & Heuwieser, W. (2014). Evaluation of oestrous detection in dairy cattle comparing an automated activity monitoring system to visual observation. *Reproduction in Domestic Animals*, 49 (4), 621-628. doi: 10.1111/rda.12337.

Nebel, RL, Dransfield, MG, Jobst, SM & Bame, JH. (2000). Automated electronic systems for the detection of oestrus and timing of AI in cattle. *Animal Reproduction Science*, 60, 713723. doi: 10.1016/S0378-4320(00)00090-7.

Neves, RC, Leslie, KE, Walton, JS & LeBlanc, SJ. (2012). Reproductive performance with an automated activity monitoring system versus a synchronized breeding program. *Journal of Dairy Science*, 95 (10), 5683-5693. doi: 10.3168/jds.2011-5264.

Omari, M, Lange, A, Plöntzke, J & Roblitz, S. (2020). Model-based exploration of the impact of glucose metabolism on the estrous cycle dynamics in dairy cows. *Biology Direct*, 15 (2), 1-22. doi: 10.1186/s13062-019-0256-7.

Palhão, MP, Piedade, CDS, Araújo, HL, Fernandes, CDC, Guimarães, CRB, Ribeiro, JR, Reis, WDSM & Viana, JHM. (2014). Sincronização folicular e vascularização do folículo dominante em novilhas mestiças tratadas com estradiol. *Revista Brasileira de Ciência Veterinária*, 21 (2), 117-121. doi: 10.4322/rbcv.2014.034.

Palmer, MA, Olmos, G, Boyle, LA & Mee, JF. (2010). Estrus detection and estrus characteristics in housed and pastured Holstein–Friesian cows. *Theriogenology*, 74 (2), 255-264. doi: 10.1016/j.theriogenology.2010.02.009.

Pansani, MA & Beltran, MP. (2009). Anatomia e fisiologia do aparelho reprodutor de fêmeas bovinas. *Revista Científica Eletrônica de Medicina Veterinária*, ano VII (12). Retrieved April 30, 2020, from [http://faef.revista.inf.br/imagens\\_arquivos/arquivos\\_destaque/MBINAo2JHuZSrRY\\_2013-6-19-10-50-19.pdf](http://faef.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/MBINAo2JHuZSrRY_2013-6http://faef.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/MBINAo2JHuZSrRY_2013-6-19-10-50-19.pdf)

Pate, JL & Townson, DH. (1994). Novel local regulators in luteal regression. *Journal of Animal Science*, 72 (3), 31-42, Retrieved April 22, 2019, from

[https://www.researchgate.net/profile/David\\_Townson/publication/267938692\\_Novel\\_Local\\_Regulators\\_in\\_Luteal\\_Regression/links/5460b9120cf27487b4525a63.pdf](https://www.researchgate.net/profile/David_Townson/publication/267938692_Novel_Local_Regulators_in_Luteal_Regression/links/5460b9120cf27487b4525a63.pdf).

Peralta, OA, Pearson, RE & Nebel, RL. (2005). Comparison of three estrus detection systems during summer in a large commercial dairy herd. *Animal Reproduction Science*, 87 (1-2), 59-72. doi: 10.1016/j.anireprosci.2004.10.003.

Pereira, MHC, Rodrigues, ADP, De Carvalho, RJ, Wiltbank, MC & Vasconcelos, JLM. (2014). Increasing length of an estradiol and progesterone timed artificial insemination protocol decreases pregnancy losses in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 97 (3), 1454-1464. doi: 10.3168/jds.2013-7287.

Pereira, AS, Shitsuka, DM, Parreira, FJ & Shitsuka, R. (2018). Metodologia do trabalho científico [e-book]. Santa Maria, RS: UFSM, NTE. Retrieved April 2, 2020, from [https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic\\_Computacao\\_Metodologia](https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic_Computacao_Metodologia)  
[https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic\\_Computacao\\_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1](https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic_Computacao_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1)

Pereira, MHC, Wiltbank, MC & Vasconcelos, JLM. (2016). Expression of estrus improves fertility and decreases pregnancy losses in lactating dairy cows that receive artificial insemination or embryo transfer. *Journal of Dairy Science*, 99 (3), 2237–2247. doi: 10.3168/jds.2015-9903.

Pires, MF, Alves, NG, Silva Filho, JM, Camargo, LSA & Verneque, RS. (2003). Comportamento de vacas da raça Gir (*Bos taurus indicus*) em estro. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 55(2),187-196. doi: 10.1590/S0102-09352003000200010.

Pohler, K. G., Peres, R. F. G., Green, J. A., Graff, H., Martins, T., Vasconcelos, J. L. M., & Smith, MF. (2016). Use of bovine pregnancy-associated glycoproteins to predict late embryonic mortality in postpartum Nelore beef cows. *Theriogenology*, 85 (9), 1652-1659. doi: 10.1016/j.theriogenology.2016.01.026.

Psb Animal Health. (2020). Retrieved May 2, 2020, from <https://www.pbsanimalhealth.com/products/kamar-heatmount-detectors-cattle>.

Reith, S & Hoy, S. (2018). Review: Behavioral signs of estrus and the potential of fully automated systems for detection of estrus in dairy cattle, *Animal*, 12, 398–407. doi: 10.1017/S1751731117001975.

Ricci, A, Li, M, Fricke, PM & Cabrera, VE. (2020). Short communication: Economic impact among 7 reproductive programs for lactating dairy cows, including a sensitivity analysis of the cost of hormonal treatments. *Journal of Dairy Science*, S0022-0302 (20), 30275-30277. doi: 10.3168/jds.2019-17658.

Rivera, F, Narciso, C, Oliveira, R, Cerri, RLA, Correa-Calderón, A, Chebel, RC & Santos, JEP. (2010). Effect of bovine somatotropin (500 mg) administered at ten-day intervals on ovulatory responses, expression of estrus, and fertility in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 93 (4), 1500-1510. doi: 10.3168/jds.2009-2489.

Roelofs, JB, Graat, EAM, Mullaart, E, Soede, NM, Voskamp-Harkema, W & Kemp, B. (2006). Effects of insemination–ovulation interval on fertilization rates and embryo characteristics in dairy cattle. *Theriogenology*, 66 (9), 2173-2181. doi: 10.1016/j.theriogenology.2006.07.005.

Roelofs, J, López-Gatius, F, Hunter, RHF, Van Eerdenburg, FJCM & Hanzen, C. (2010). When is a cow in estrus? Clinical and practical aspects. *Theriogenology*, 74 (3), 327-344. doi: 10.1016/j.theriogenology.2012.02.016.

Roelofs, J. B., Van Eerdenburg, F. J. C. M., Soede, N. M., & Kemp, B. (2005). Various behavioral signs of estrous and their relationship with time of ovulation in dairy cattle. *Theriogenology*, 63 (5), 1366-1377. doi: 10.1016/j.theriogenology.2004.07.009.

Roelofs, JB & Van Erp-van der Kooij, E. (2015). Estrus detection tools and their applicability in cattle: recent and perspectival situation. *Animal Reproduction*, 12 (3), 498-504, Retrieved May 04, 2020, from <https://www.animalreproduction.org/article/5b5a6033f7783717068b4614/pdf/animreprod-12-3-498.pdf>

Ruiz-Garcia, L & Lunadei, L. (2011). The role of RFID in agriculture: Applications, limitations and challenges. *Computers and Electronics in Agriculture*, 79 (1), 42-50. doi: 10.1016/j.compag.2011.08.010.

Ruralban. (2019). Retrieved July 01, 2019, from <https://www.ruralban.com/inseminacaohttps://www.ruralban.com/inseminacao-artificial-e-t-e/detector-de-cio/detector-de-cio-estrotectartificial-e-t-e/detector-de-cio/detector-de-cio-estrotect>.

Saint Dizier, M & Chastant Maillard, S. (2012). Towards an automated detection of oestrus in dairy cattle. *Reproduction in Domestic Animals*, 47 (6), 1056-1061. doi: 10.1111/j.1439.0531.2011.01971.

Salles, MGF & Araújo, AA. (2010). Corpo lúteo cíclico e gestacional: revisão. *Revista Brasileira de Reprodução Animal*, 34 (3), 185-194, Retrieved April 22, 2019, from [https://www.researchgate.net/profile/Maria\\_Gorete\\_Flores\\_Salles/publication/272621785\\_Corpo\\_luteo\\_ciclico\\_e\\_gestacional\\_revisao\\_Cyclic\\_and\\_gestational\\_corpus\\_luteum\\_review/links/54ea38c10cf2f7aa4d56e71f.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Maria_Gorete_Flores_Salles/publication/272621785_Corpo_luteo_ciclico_e_gestacional_revisao_Cyclic_and_gestational_corpus_luteum_review/links/54ea38c10cf2f7aa4d56e71f.pdf).

Sammad, A, Umer, S, Shi, R, Zhu, H, Zhao, X & Wang, Y. (2019). Dairy cow reproduction under the influence of heat stress. *Journal of animal Physiology and Animal Nutrition*. doi: 10.1111/jpn.13257.

Sartori, R, Fricke, PM, Ferreira, JC, Ginther, OJ, & Wiltbank, MC. (2001). Follicular deviation and acquisition of ovulatory capacity in bovine follicles. *Biology of Reproduction*, 65 (5), 1403-1409. doi: 10.1095/biolreprod65.5.1403.

Sauls, JA, Voelz, BE, Hill, SL, Mendonça, LGD & Stevenson, JS. (2017). Increasing estrus expression in the lactating dairy cow 1. *Journal of Dairy Science*, 100 (1), 807–820. doi: 10.3168/jds.2016-11519.

SCR. (2019). Retrieved July 20, 2019, from <http://www.scrdairy.com/cow-intelligence/scrhttp://www.scrdairy.com/cow-intelligence/scr-heatime-hr-system.htmlheatime-hr-system.html>.



Schüller, LK, Burfeind, O & Heuwieser, W. (2014). Impact of heat stress on conception rate of dairy cows in the moderate climate considering different temperature–humidity index thresholds, periods relative to breeding, and heat load indices. *Theriogenology*, 81 (8), 10501057. doi: 10.1016/j.theriogenology.2014.01.029.

Schüller, LK, Burfeind, O & Heuwieser, W. (2016). Effect of short-and long-term heat stress on the conception risk of dairy cows under natural service and artificial insemination breeding programs. *Journal of Dairy Science*, 99 (4), 2996-3002. doi: 10.3168/jds.2015-10080.

Senger, P. (2003). *Pathways to pregnancy and parturition*. Washington: Current Conceptions.

Silper, BF & Cerri, RLA. (2016). Monitores de atividade como ferramenta para detecção de cio. Retrieved June 20, 2019, from <http://www.revistaleiteintegral.com.br/noticia/monitores><http://www.revistaleiteintegral.com.br/noticia/monitores-de-atividade-como-ferramenta-para-deteccao-de-cio>.

Silva, PRB, Souza, MA, Santos, SF & Santos, RM. (2011). Regulação farmacológica do ciclo estral de bovinos. *Pubvet*, 5 (39), 1251-1257. Retrieved May 4, 2020, from <http://www.pubvet.com.br/artigo/2168/regulaccedilatildeo-farmacoloacutegica-do-ciclo><http://www.pubvet.com.br/artigo/2168/regulaccedilatildeo-farmacoloacutegica-do-ciclo-estral-de-bovinosestral-de-bovinos>.

Siqueira, LC, Oliveira, JFCD, Loguércio, RDS, Löf, HK & Gonçalves, PBD. (2008). Sistemas de inseminação artificial em dois dias com observação de estro ou em tempo fixo para vacas de corte amamentando. *Ciência Rural*, 38(2), 411-415. doi: 10.1590/S010384782008000200019.

Skenandore, CS & Cardoso, FC. (2017). The effect of tail paint formulation and heifer behavior on estrus detection, *International Journal of Veterinary Science and Medicine*, 5 (2), 113-120. doi: 10.1016/j.ijvsm.2017.08.001.

Smith, MF. (1986). Recent advances in corpus luteum physiology. *Journal of Dairy Science*, 69 (3), 911-926. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(86)80481-7.

Sobreira, RR, Almeida, IC, Oliveira, FA, Siqueira, JB, Barioni, G, Lima, DV & Siqueira, LA. (2017). Cipionato de estradiol e benzoato de estradiol em protocolos de inseminação artificial em tempo fixo em novilhas mestiças. *Veterinária e Zootecnia*, 24 (3), 581-591. doi: 10.35172/rvz.2017.v24v295.

Speckhart, S, Franco, G, Maia, T, Dantas, F, Thompson, K, Rhinehart, J & Pohler, K. (2018). Effect of reproductive tract size and position scores and estrus on reproductive performance in beef cows. *Journal of Animal Science*, 96 (3), 358-358. doi: 10.1093/jas/sky404.787.

Stewart, M, Wilson, MT, Schaefer, AL, Huddart, F & Sutherland, MA. (2017). The use of infrared thermography and accelerometers for remote monitoring of dairy cow health and welfare. *Journal of Dairy Science*, 100 (5), 3893-3901. doi:10.3168/jds.2016-12055.

Sunderland, SJ, Crowe, MA, Boland, MP, Roche, JF & Ireland, JJ. (1994). Selection, dominance and atresia of follicles during the oestrous cycle of heifers. *Reproduction*, 101 (3), 547-555. doi:10.1530/jrf.0.1010547.

Thatcher, WW, Guzeloglu, A, Meikle, A, Kamimura, S, Bilby, T, Kowalski, AA, Badinga, L, Pershing, R, Bartolome, J & Santos, JEP. (2003). Regulation of embryo survival in cattle. *Society for Reproduction and Fertility*, 253-266, Retrieved June 20, 2019 from [https://cals.arizona.edu/extension/dairy/todd\\_pdf/Regulation\\_embryo\\_survival\\_cattle.pdf](https://cals.arizona.edu/extension/dairy/todd_pdf/Regulation_embryo_survival_cattle.pdf).

Titi, HH, Kridli, RT & Alnimer, MA. (2010). Estrus synchronization in sheep and goats using combinations of GnRH, progestagen and prostaglandin F<sub>2α</sub>. *Reproduction in Domestic Animals*, 45 (4), 594-599. doi: 10.1111/j.1439-0531.2008.01309.x .

Uribe-Velásquez, LF, Souza, MIL & Osorio, JH. (2011). Efeito do tempo da aplicação de prostaglandina na resposta folicular em ovelhas durante o ciclo estral. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40 (5), 985-991. doi: 10.1590/S1516-35982011000500007.

Valenza, A, Giordano, JO, Lopes Jr, G, Vincenti, L, Amundson, MC & Fricke, PM. (2012). Assessment of an accelerometer system for detection of estrus and treatment with gonadotropin-releasing hormone at the time of insemination in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 95 (12), 7115-7127. doi: 10.3168/jds.2012-5639.

Vasconcelos, JL, Jardina, DT, Sá Filho, OG, Aragon, FL & Veras, MB. (2011). Comparison of progesterone-based protocols with gonadotropin-releasing hormone or estradiol benzoate for timed artificial insemination or embryo transfer in lactating dairy cows. *Theriogenology*, 75 (6), 1153-1160. doi: 10.1016/j.theriogenology.2010.11.027.

Vasconcelos, GL, Lopes, MA & Reis, EMB. (2015) Detecção eletrônica do estro em vacas leiteiras: uma revisão. *Ciência Animal*, 25 (2), 48-59. Retrieved May 04, 2020 from [http://www.uece.br/cienciaanimal/dmdocuments/artigo04\\_2015\\_2.pdf](http://www.uece.br/cienciaanimal/dmdocuments/artigo04_2015_2.pdf).

Veronese, A, Marques, O, Moreira, R, Belli, AL, Bilby, TR & Chebel, RC. (2019). Estrous characteristics and reproductive outcomes of Holstein heifers treated with 2 prostaglandin formulations and detected in estrus by an automated estrous detection or mounting device. *Journal of Dairy Science*, 102 (7). doi: 6649-6659. doi:10.3168/jds.2018-15957

Wenzinger, B & Bleul, U. (2012). Effect of a prostaglandin F2 $\alpha$  analogue on the cyclic corpus luteum during its refractory period in cows. *BMC Veterinary Research*, 8 (1), 220. doi: 10.1186/1746-6148-8-220.

Wiltbank, M, Lopez, H, Sartori, R, Sangsritavong, S & Gümen, A. (2006). Changes in reproductive physiology of lactating dairy cows due to elevated steroid metabolism. *Theriogenology*, 65 (1), 17-29. doi: 10.1016/j.theriogenology.2005.10.003.

Wiltbank, MC & Pursley, JR. (2014). The cow as an induced ovulator: Timed AI after synchronization of ovulation. *Theriogenology*, 81 (1), 170-185. doi: 10.1016/j.theriogenology.2013.09.017.

### **Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito**

Letícia Ribeiro Marques – 45%

João Vitor Nogueira Almeida – 10%

Thaís Campos Marques – 15%

Kátia Cyrene Guimarães – 5%

Tiago do Prado Paim – 5%

Karen Martins Leão – 20%

## 6. OBJETIVOS

### 6.1 Gerais

Avaliar o desempenho da associação entre o sistema automatizado de monitoramento de atividade (SAMA) do tipo colar (SCR Engineering, Netanya, Israel) e diferentes manejos reprodutivos, ordem de parto, saúde e fatores ambientais na taxa de prenhez de vacas leiteiras.

### 6.2 Específicos

- Avaliar o desempenho da associação entre o sistema automatizado de monitoramento de atividade do tipo colar (SCR Engineering, Netanya, Israel) e diferentes manejos reprodutivos (sincronização de estro por prostaglandina ou sincronização de estro e ovulação por protocolo hormonal) na taxa de prenhez de 1.054 vacas;
- Determinar se o melhor momento para a primeira IA da associação do SAMA do tipo colar (SCR Engineering, Netanya, Israel) com IA pela sincronização do estro por prostaglandina é com 8 ou 10 horas após o alarme do sistema, de acordo com a mensuração da taxa de prenhez dos animais;
- Determinar se o melhor momento para a primeira IA da associação do SAMA do tipo colar (SCR Engineering, Netanya, Israel) com IA pela sincronização do estro e da ovulação por protocolo hormonal é com 8 ou 10 horas após o alarme do sistema, no desempenho reprodutivo de vacas leiteiras para reduzir período de dias em aberto e o intervalo entre partos pela mensuração da taxa e concepção das vacas;
- Verificar os efeitos da associação do SAMA a programas de IA no manejo reprodutivo, estação do ano, ordem de parto, dias em lactação, tipo de secreção vaginal entre o 11º e 17º dia pós-parto e retenção de placenta sobre a fertilidade e a expressão do estro mensurado pelo SAMA do tipo colar (SCR Engineering, Netanya, Israel) em vacas leiteiras, visando a amenizar as variáveis que interferem na taxa de prenhez.

## **CAPÍTULO II - FATORES ASSOCIADOS À EFICIÊNCIA REPRODUTIVA DE VACAS LEITEIRAS COM O USO DE UM SISTEMA AUTOMATIZADO DE MONITORAMENTO DE ATIVIDADE**

(Normas de acordo com a revista *Livestock Science*)

### **RESUMO**

O sistema de monitoramento de atividade animal (SAMA) mensura variáveis fisiológicas e comportamentais individuais, possibilitando a detecção precisa do estro. Determinar o momento ideal da inseminação artificial (IA) em relação ao estro é importante para maximizar o desempenho reprodutivo de animais leiteiros. O objetivo do presente estudo foi identificar o efeito de fatores ambientais, estação do ano, paridade, saúde no periparto, protocolos de sincronização do estro e/ou ovulação, momento de inseminação artificial, nota de estro e touro com uso do SAMA, sobre a taxa de prenhez após a primeira IA pós-parto em vacas leiteiras da raça holandesa. Os dados foram coletados de 1.054 vacas criadas em sistema *free stall* de uma granja leiteira comercial brasileira, as quais foram equipadas com colar de SAMA trinta dias antes da data prevista para o parto. Foram avaliados animais inseminados pela sincronização do estro por prostaglandina e do estro e ovulação por protocolo à base de estradiol e progesterona. A IA foi feita 8 horas ou 10 horas após o alarme do SAMA. Análises de regressão logística pelo modelo stepwise foram utilizadas para verificar a probabilidade de prenhez associada aos parâmetros avaliados. Ao analisar todas as vacas do presente estudo, as maiores taxas de prenhez foram obtidas com animais múltiparos, inseminados 10 horas após o alarme do SAMA, na estação outono ou inverno, com pico de atividade e nota do estro elevados. Considerando apenas as vacas saudáveis, as maiores taxas de prenhez foram encontradas na estação do outono e inverno, com estro e ovulação sincronizados por protocolo, com pico de atividade e nota do estro elevados, independentemente da paridade. Assim, a otimização dos modelos do SAMA mediante inclusão de informações sobre a paridade, histórico de saúde no periparto e condição de estresse térmico pode favorecer a correta identificação do estro e aperfeiçoar o alarme do SAMA em relação ao momento ideal para a inseminação artificial, incrementando ainda mais o desempenho reprodutivo em vacas leiteiras.

**Palavras-chave:** Pico de atividade animal, momento da inseminação artificial, prenhez, bovinos.

## **ASSOCIATED FACTORS THE REPRODUCTIVE EFFICIENCY OF DAIRY COWS WITH THE USE OF THE AUTOMATED ACTIVITY MONITORING SYSTEM**

### **ABSTRACT**

The animal activity monitoring system (AAM) measures individual physiological and behavioral variables, enabling the accurate detection of estrus. Determining the optimal timing of artificial insemination (AI) in relation to estrus is important to maximize the reproductive performance of dairy animals. The aim of the present study was to identify the effect of environmental factors, season of the year, parity, health in the peripartum, estrus and/or ovulation synchronization protocols, timing of artificial insemination, estrus score and bull using SAMA, on pregnancy rate after the first postpartum AI in Holstein dairy cows. Data were collected from 1,054 cows raised in a free stall system in a Brazilian commercial dairy farm, which were equipped with a AAM collar thirty days before the expected calving date. Animals inseminated by synchronization of estrus by prostaglandin and estrus and ovulation by protocol based on estradiol and progesterone were evaluated. The AI was performed 8 hours or 10 hours after the AAM alarm. Logistic regression analyzes using the stepwise model were used to verify the probability of pregnancy associated with the evaluated parameters. When analyzing all the cows in the present study, the highest pregnancy rates were obtained with multiparous animals, inseminated 10 hours after the AAM alarm, in the autumn or winter season, with high activity peaks and high estrus scores. Considering only healthy cows, the highest pregnancy rates were found in the autumn and winter season, with estrus and ovulation synchronized by protocol, with high activity peak and high estrus score, regardless of parity. Thus, the optimization of AAM models by including information on parity, health history in the peripartum and heat stress condition can favor the correct identification of estrus and improve AAM alarm as to the ideal time for artificial insemination, further increasing plus the reproductive performance in dairy cows.

**Keywords:** Peak of animal activity, moment of artificial insemination, pregnancy, cattle.

## 1. INTRODUÇÃO

O desempenho reprodutivo dos animais leiteiros é fator determinante na lucratividade das granjas de leite por alterar a proporção de animais em lactação e o número médio de dias em lactação do rebanho (Carvalho et al., 2015). Para o desempenho reprodutivo ser considerado ideal, a concepção no primeiro serviço após o parto é decisiva (Inchaisri et al., 2010). Baixas taxas de prenhez levam a um maior intervalo entre partos, diminuição na produção de bezerras e aumento das taxas de descarte e das despesas de manutenção das vacas secas (Barbosa et al., 2011).

No intuito de melhorar a eficiência reprodutiva, intervenções farmacológicas para controlar o ciclo estral das vacas são frequentemente usadas nos programas de manejo de bovinos leiteiros (Campos & Santos, 2015).

Apesar da constante evolução dos programas de sincronização para inseminação artificial (IA), aprimorar a detecção de estro continua sendo uma prioridade no desempenho reprodutivo da granja leiteira (Marques et al., 2020). Neste sentido, os sistemas de monitoramento de atividade animal (SAMA) mensuram variáveis fisiológicas e comportamentais individuais, como, por exemplo, a movimentação (Hockey et al., 2010). Levando em conta o aumento da atividade animal, o SAMA detecta de 15 a 35% a mais de animais em estro do que a observação visual (Mayo et al., 2019), chegando a uma detecção eficiente superior a 80% (Saint-Dizier & Chastant-Maillard, 2012). Dessa forma, torna-se uma ferramenta vantajosa para aumentar a taxa de serviço e diminuir os dias à primeira IA (Fricke et al., 2014).

Além disso, o desempenho reprodutivo e as taxas de prenhez de vacas leiteiras podem ser influenciados por fatores ambientais (McManus et al., 2002), escore de condição corporal (Weik et al., 2020), retenção de placenta (Buso et al., 2018), paridade (Abreu et al., 2020), doenças no periparto (Ribeiro et al., 2016), nutrição, estresse térmico e mês da realização da IA (Siddiqui et al., 2013).

Dessa forma, objetivou-se com este trabalho identificar o efeito de fatores ambientais, estação do ano, paridade, saúde no periparto, momento de inseminação artificial, protocolos de sincronização de estro e/ou ovulação, nota de estro e touro com uso do SAMA, sobre a taxa de prenhez após a primeira IA pós-parto em vacas leiteiras da raça holandesa. Tendo como hipótese, que vacas saudáveis, inseminadas mais próximo da ovulação, em estações do ano com menor temperatura e umidade, tenham uma melhor taxa de concepção após a primeira inseminação após o parto.



## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Vacas e alojamento

Este estudo observacional retrospectivo caso controle foi conduzido tendo como referência a análise do banco de dados de uma granja leiteira comercial localizada no sudoeste estado de Goiás, Brasil (17°49'28.2" S 50°39'35.6" W), entre janeiro de 2018 e dezembro de 2020. A fazenda utilizava como software de gerenciamento o Dairy Plan C21<sup>®</sup> (GEA Farm Technologies, Düsseldorf, Alemanha) e o Ideagri<sup>®</sup> (Rehagro, Belo Horizonte, Brasil), dos quais eram extraídos os dados durante as visitas semanais, posteriormente exportados para o Microsoft Excel (Microsoft Corp.Redmond WA).

Durante este período, foram avaliadas 1.054 vacas em lactação da raça Holandesa, alojadas em sistema *free stall*, que eram ordenhadas três vezes ao dia, com produção média de leite de 11.154 kg por animal equivalente a 305 dias em lactação. Na tentativa de proporcionar conforto térmico, ventiladores posicionados na área das camas eram acionados quando a temperatura estava acima de 20°C e desligados abaixo de 17°C. Aspersores localizados na linha de cocho eram acionados durante o dia, intercalando 18 minutos ligados e 20 minutos desligados.

Ração mista total era oferecida *ad libitum* duas vezes ao dia (5 a.m. e 1 p.m.), baseada em silagem de milho, farelo de soja, milho moído, caroço de algodão e núcleo comercial, seguindo as recomendações do National Research Council (NRC, 2001), com livre acesso a uma água de boa qualidade.

### 2.2. Parâmetros do periparto

A condição da vaca no periparto (21 dias antes e após o parto) foi avaliada pelos parâmetros ocorrência de doença (hipocalcemia, cetose, deslocamento de abomaso, acidose, laminite, afecções podais, pneumonia e mastite clínica), retenção de placenta (não expulsão das membranas fetais superior a 12 horas pós-parto), metrite, escore de condição corporal (ECC) e escore de locomoção (EL). Os dados avaliados eram adicionados aos softwares Ideagri<sup>®</sup> (Rehagro, Belo Horizonte, Brasil).

O ECC baseou-se em uma escala de 5 pontos descrita por Ferguson et al. (1994), caracterizados como 1, vacas magreza extrema, e 5, vacas obesas. O EL obedeceu à mesma escala, sendo 1 o animal que caminhava normalmente e 5 aquele que estava em claudicação, conforme descrito por Sprecher et al. (1997).

### **2.3. Secreção vaginal pós-parto**

No intuito de verificar a influência do tipo de secreção vaginal pós-parto na taxa de prenhez após a primeira IA, semanalmente vacas entre 11 e 17 dias em lactação (DEL) tiveram a secreção vaginal coletada através de Metrichick® (SimcroTech, Hamilton, New Zealand) e classificada de acordo com Sheldon et al. (2006) em A (clara ou translúcida), B (pouco material purulento), C (mucopurulento), D (50% ou mais de pus) e E (marrom-avermelhada aquosa fétida). Vacas que tiveram classificação D e E foram tratadas com 20 mg cloridrato de ceftiofur (Lactofur®, Ouro Fino, Cravinhos, Brasil) em dose única.

### **2.4. Sistema automatizado de monitoramento de atividade (SAMA)**

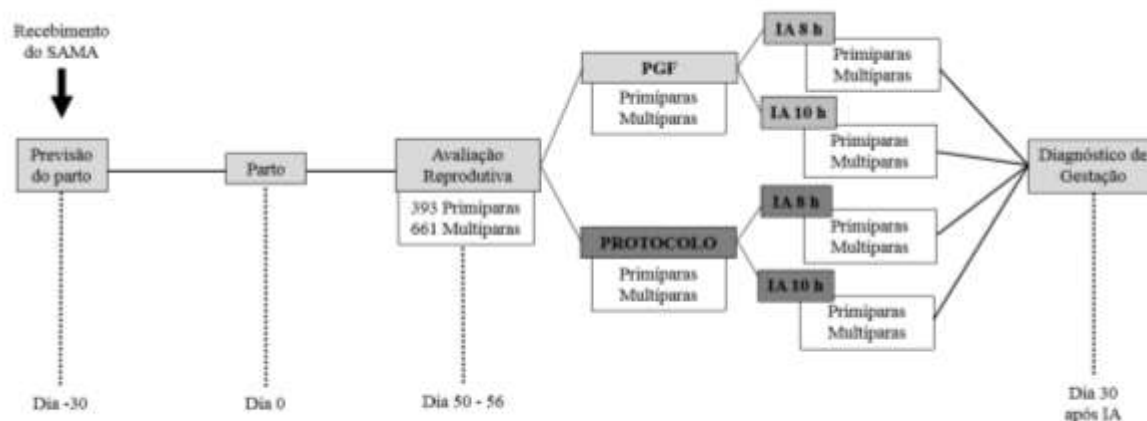
Trinta dias antes da data prevista para o parto, as vacas receberam o SAMA tipo colar SCR® (SCR Engineering, Netanya, Israel). O tempo (minutos) de atividade e de ruminção diária foi considerado para a análise dos dados. Quando o animal atinge seu ápice de movimentação é indicativo do estro. Com alta atividade animal, o alarme do SAMA é ativado, com programação regressiva de 25 horas, considerando que neste momento a fêmea tem o pico de hormônio luteinizante (LH) iniciado e, após este intervalo de tempo, ocorrerá a ovulação, considerada a hora zero. A IA foi feita em dois momentos, 8 horas (n= 536) ou 10 horas (n= 518) após o alarme do SAMA, com nota de estro acima de 30. Assim, quando a vaca é inseminada 8 horas após o pico de LH, há um maior distanciamento da ovulação (17 horas para ovulação) em comparação com a inseminação com 10 horas após o pico de LH (15 horas para ovulação).

### **2.5. Manejo reprodutivo e sincronização para inseminação artificial**

Foram incluídas neste estudo vacas separadas por sua ordem de parto (primíparas, n= 393 e multíparas, n= 661), com 50 a 56 dias em lactação (DEL), com útero involuído e ovário com presença de corpo lúteo com sincronização de estro por prostaglandina (PGF 0.5 mg de cloprostenol, Sincrocio®, Cravinhos, Brasil, n=558) ou protocolo de sincronização de estro e ovulação (n= 496) adaptado de Pereira et al. (2017a). Dia 0 (50 a 56 DEL), dois dispositivos intravaginais de progesterona (P<sub>4</sub>) contendo 1.9 g de P<sub>4</sub> (CIDR, Zoetis, São Paulo, Brasil) e 2.0 mg (i.m.) de benzoato de estradiol (2.0 mL de Sincrodiol, Ouro Fino, Cravinhos, Brasil). No dia 7, foi feita a retirada de um CIDR e 25 mg (i.m.) dinoprost trometamina (PGF; 5.0 mL de Lutalyse, Zoetis, São Paulo, Brasil). No dia 9, foi feita a retirada do outro CIDR, 25 mg

(i.m.) dinoprost trometamina (PGF; 5.0 mL de Lutalyse, Zoetis, São Paulo, Brasil) e 1.0 mg (i.m.) de cipionato de estradiol (0.5 mL de E.C.P., Zoetis, Brasil). As vacas foram inseminadas entre 53 a 68 DEL, utilizando sêmen convencional congelado de nove touros. As IAs foram realizadas com 8 horas ou 10 horas após o alarme do SAMA e nota de estro superior a 30, a qual era gerada pelo sistema de acordo com a intensidade de movimentação animal. Os animais que não tiveram o cio detectado pelo SAMA não foram inseminados. Após 30 dias da inseminação, foi feito o diagnóstico de prenhez através de ultrassonografia transretal (DP-2200, Mindray®, São Paulo, Brasil).

O delineamento experimental está apresentado na Figura 7.



**Figura 7.** Delineamento experimental

## 2.6. Coleta de dados produtivos e meteorológicos

Todos os dados foram coletados dos softwares Ideagri® (Rehagro, Belo Horizonte, Brasil) e Dairy Plan C21® (GEA Farm Technologies, Düsseldorf, Alemanha). As estações do ano foram estabelecidas conforme definição para o hemisfério sul: primavera (21 setembro até 20 dezembro), verão (21 dezembro até 20 março), outono (21 março até 20 junho) e inverno (21 junho até 20 setembro).

Os dados meteorológicos coletados foram temperatura máxima, mínima e média e umidade relativa do ar (UR). Os dados foram coletados na estação meteorológica localizada na fazenda (ADAMA Clima®, Adama Brasil, Londrina, Brasil).

O índice de temperatura e de umidade (ITU) foi calculado no dia da IA com a intenção de constatar o nível de estresse térmico a que o animal estava exposto, de acordo com o modelo definido por Mader et al. (2006), utilizado por Marques et al. (2013):  $ITU = 0,8 \times T + [(UR$

$(\% \div 100) \times (T-14,4)] + 46,4$ , em que T é a temperatura ambiente em °C e UR é a umidade relativa do ar.

## 2.7. Análise estatística

Os dados foram tabulados em Microsoft Excel 2013 (Microsoft Corp., Redmond, WA, EUA) e posteriormente, as análises foram feitas no software R (R Core Team, 2020).

A análise de consistência dos dados foi feita para verificar a existência de *outliers*, normalidade e homogeneidade de variância.

Os dados referentes às variáveis ambientais (temperatura ambiente e umidade relativa do ar) foram avaliados quanto à estação do ano mediante análise de variância (ANOVA), e as médias, comparadas pelo teste de Kruskal-Wallis.

A análise de regressão logística do modelo stepwise foi feita para verificar a probabilidade de prenhez, associada a fatores ambientais, estação do ano, paridade, saúde no periparto, escore de locomoção, tipo de sincronização para IA, atividade, nota de estro e horário de IA e touro, com uso do SAMA.

Os modelos preditivos para análise dos dados foram feitos utilizando os pacotes “car” (Fox & Weisberg, 2019), “caret” (Kuhn, 2020) e “tidyverse” (Wickham et al., 2019). Em razão da alta significância dos fatores relacionados à saúde quanto à probabilidade de prenhez, foi elaborado um segundo modelo considerando apenas vacas saudáveis (secreção vaginal com muco “A”, sem retenção de placenta e sem doença no periparto). A acurácia dos dados foi separada em 80% para treinamento e 20% para teste.

O teste de Wald foi utilizado para verificar a significância dos efeitos dos modelos. A magnitude dos efeitos foi determinada pela análise do odds ratio, usando a função tidy.

## 3. RESULTADOS

Ao analisar todas as vacas presentes no estudo (modelo 1), as saudáveis e as que apresentaram algum distúrbio de saúde no periparto, as maiores taxas de prenhez foram obtidas em multíparas, inseminadas 10 horas após o alarme do SAMA, na estação do ano do outono ou inverno, com pico de atividade e nota do estro elevados. Entretanto, ao considerar apenas as vacas saudáveis (modelo 2), os animais inseminados na estação do outono ou inverno, com estro e ovulação sincronizados por protocolo, com pico de atividade e nota do estro elevados, independentemente da paridade, apresentaram taxas de prenhez mais elevadas.

As variáveis incluídas nos dois modelos de regressão logística para análise dos dados

assim como sua significância estão descritas na Tabela 1.

As temperaturas máxima, média e mínima durante o estudo foram 30.9°C, 23.7°C e 18.4°C, respectivamente. O ITU máximo foi de 81.6, o médio de 71.4 e o mínimo de 63.9. A umidade relativa (UR) média foi 67.8%.

**Tabela 1.** Variáveis utilizadas nos modelos de regressão logística stepwise para prenhez à primeira inseminação artificial (IA) aos 30 dias de todas as vacas do estudo (Modelo 1, n=1054) e apenas de vacas saudáveis<sup>1</sup> (Modelo 2, n=509).

Variáveis	Valor de P	
	Modelo 1	Modelo 2
Paridade (primíparas e múltiparas)	0.0080	0.1421
Escore de Locomoção	0.0787	-
Retenção de placenta	< 0.0001	-
Secreção vaginal	< 0.0001	-
Doença no periparto	0.0003	-
Estação do ano no dia da IA	< 0.0001	< 0.0001
Nota de estro	< 0.0001	< 0.0001
Atividade SAMA <sup>2</sup>	< 0.0001	< 0.0001
Manejo reprodutivo	0.1028	0.0263
Horário da IA após alarme SAMA	0.0064	-
ITU <sup>3</sup> mínimo no dia da IA	0.5710	-
ITU médio no dia da IA	0.0670	-
Touro	-	0.0420
Acurácia do modelo	75.6%	77.2%

<sup>1</sup>Vacas com descarga vaginal tipo A, sem retenção de placenta, sem doença no periparto

<sup>2</sup>Sistema automatizado de monitoramento de atividade (SCR Engineering, Netanya, Israel)

<sup>3</sup>Índice de temperatura e umidade.

A Tabela 2 mostra as variáveis ambientais no dia da IA durante as estações do ano no período avaliado. A temperatura ambiente média foi mais elevada na primavera e verão, seguida do inverno e outono. O ITU médio foi maior na primavera e no verão, seguido do outono e inverno. A UR foi mais alta no verão, seguida do outono, primavera e inverno. O inverno foi caracterizado pela maior amplitude térmica, apresentando menor temperatura mínima e menores ITU mínimo, máximo e médio em relação às demais estações (P<0.05).

**Tabela 2.** Média e erro padrão das variáveis ambientais no dia da inseminação artificial: temperatura ambiente (T) mínima, máxima e média, umidade relativa do ar (UR) e índice de temperatura e umidade (ITU) mínimo, máximo e médio nas diferentes estações do ano durante o período avaliado.

Variáveis	Estação do ano			
	Primavera	Verão	Outono	Inverno
T mínima	20.6±0.2 <sup>a</sup>	20.7±0.2 <sup>a</sup>	17.5±0.1 <sup>b</sup>	16.2±0.2 <sup>c</sup>
T máxima	32.2±0.2 <sup>a</sup>	31.0±0.2 <sup>b</sup>	29.4±0.1 <sup>c</sup>	31.3±0.2 <sup>b</sup>
T média	25.3±0.2 <sup>a</sup>	24.7±0.2 <sup>a</sup>	22.5±0.1 <sup>c</sup>	23.1±0.2 <sup>b</sup>
UR	67.5±0.8 <sup>c</sup>	75.4±0.9 <sup>a</sup>	71.2±0.7 <sup>b</sup>	49.4±0.8 <sup>d</sup>
ITU mínimo	67.1±0.3 <sup>a</sup>	67.7±0.3 <sup>a</sup>	62.7±0.2 <sup>b</sup>	60.2±0.2 <sup>c</sup>
ITU máximo	83.7±0.2 <sup>a</sup>	83.5±0.2 <sup>a</sup>	80.5±0.2 <sup>b</sup>	79.5±0.2 <sup>c</sup>
ITU médio	73.6±0.2 <sup>a</sup>	73.8±0.2 <sup>a</sup>	70.2±0.2 <sup>b</sup>	68.9±0.2 <sup>c</sup>

<sup>a,b,c</sup> Médias seguidas por letras diferentes na mesma linha diferem entre si pelo teste de Kruskal-Wallis (P < 0.05).

Analisando o Modelo 1, na Tabela 3, observa-se efeito de estação do ano, retenção de placenta, secreção vaginal pós-parto, doença no periparto e horário da IA após alarme do SAMA tanto em primíparas quanto em múltíparas, para prenhez à primeira IA.

Atividade e nota de estro elevadas também apresentaram efeitos significativos na taxa de prenhez (P<0.0001). Escores de locomoção, tipo de sincronização, ITU mínimo e médio não foram significativos (P>0.05).

Considerando todas as vacas presentes no estudo, as saudáveis e as que apresentaram algum distúrbio de saúde no periparto, a taxa de prenhez após a primeira IA foi influenciada pela paridade (P=0.0079). Vacas múltíparas apresentaram maiores taxas de prenhez em relação às primíparas, independentemente de qualquer outra variável, com 1.5 vezes mais chances de se tornarem prenhes (Tabela 4).

Animais com retenção de placenta, com alguma presença de material mucopurulento na secreção vaginal (Muco B, C, D e E) entre o 11° e 17° dia pós-parto ou com alguma doença apresentaram menores chances de prenhez (Tabela 4). Fêmeas inseminadas com 8 horas após o alarme do SAMA tiveram 0.6 menos chances de prenhez do que aquelas inseminadas 10 horas (Tabela 4).

**Tabela 3.** Modelo de regressão logística stepwise<sup>1</sup> para prenhez à primeira inseminação artificial (IA) aos 30 dias em vacas primíparas (n=393) e múltiparas (n=661), avaliando momento da IA pelo SAMA de acordo com a estação do ano e a presença de doenças no periparto.

Efeitos	Valor de P								
	Primavera		Verão		Outono		Inverno		< 0.0001
Estação do ano (Horas após alarme do SAMA)	10h	8h	10h	8h	10h	8h	10h	8h	0.0064
<b>TAXA DE PRENHEZ DE PRIMÍPARAS (%)</b>									
Saudáveis <sup>2</sup>	24.6	34.9	23.0	32.9	48.3	60.6	45.1	57.49	Referência <sup>4</sup>
Retenção Placenta	9.3	14.5	8.6	13.4	22.8	32.7	20.6	30.0	< 0.0001
Secreção Vaginal <sup>3</sup>	10.0	15.5	9.3	14.3	24.2	34.3	21.9	31.5	< 0.0001
Doença no Periparto	11.0	16.8	10.1	15.6	26.1	36.7	23.7	33.8	0.0004
<b>TAXA DE PRENHEZ DE MULTÍPARAS (%)</b>									
Saudáveis <sup>2</sup>	33.5	45.3	31.5	43.1	59.1	70.4	55.9	67.6	Referência <sup>4</sup>
Retenção Placenta	13.7	20.7	12.7	19.3	31.4	42.9	28.7	39.8	< 0.0001
Secreção Vaginal <sup>3</sup>	14.7	22.0	13.6	20.5	32.9	44.6	30.2	41.4	< 0.0001
Doença no Periparto	16.0	23.8	14.8	22.2	35.3	47.3	32.4	44.1	0.0004

<sup>1</sup>Acurácia do modelo = 75.6%

<sup>2</sup>Vacas com secreção vaginal tipo A, sem retenção de placenta doença no periparto.

<sup>3</sup>Secreção vaginal: Muco B (pouco material purulento), C (mucopurulento), D (50% ou mais de pus) e E (marrom-avermelhada aquosa fétida) conforme Sheldon et al. (2006).

<sup>4</sup>Intervalo de confiança de 95% (Retenção de placenta: 0.5-1.9; Secreção vaginal: 0.2-1.7; Doença no periparto: 0.2-1.9)

Analisando todas as vacas presentes no estudo, aquelas que foram inseminadas no outono (ITU médio=70.2±0.2) e no inverno (ITU médio=68.9±0.2) apresentaram, respectivamente, 2.9 e 2.5 vezes mais chances de estarem prenhes em relação à primavera (ITU médio=73.6±0.2). Entretanto, menores chances de prenhez foram observadas no verão (ITU médio=73.8±0.2) em comparação com a primavera (Tabela 4).

Neste estudo, fêmeas inseminadas em estações que obtiveram o ITU mais elevado (verão e primavera) apresentaram menores taxas de prenhez em comparação com aquelas inseminadas com índices de ITU menores (inverno e outono).

Ao analisar o Modelo 2, apenas os dados das vacas saudáveis, verificou-se que a taxa de prenhez foi influenciada pelo tipo de sincronização para IA (P=0.0263), estação do ano (P<0.0001), nota de estro, atividade do SAMA (P<0.0001) e touro utilizado na IA (P<0.0420). A paridade não foi significativa (P=0.1421).

**Tabela 4.** Razão de probabilidade de prenhez à primeira inseminação artificial aos 30 dias em relação à categoria, retenção de placenta, secreção vaginal por Metricheck® (Muco: B (pouco material purulento), C (mucopurulento), D (50% ou mais de pus) e E (marrom-avermelhada aquosa fétida), doença (periparto), estação do ano comparada com a primavera e atividade, nota de estro e hora da IA do após alarme do SAMA.

Variáveis	OR	95% IC
Múltiparos	1.5	1.1 – 2.2
Retenção placenta	0.3	0.1 – 0.6
Muco B	0.4	0.3 – 0.7
Muco C	0.3	0.2 – 0.5
Muco D e E	0.3	0.1 – 0.6
Doença	0.4	0.1 – 0.8
Verão	0.9	0.5 – 1.6
Outono	2.9	1.7 – 4.9
Inverno	2.5	1.4 – 4.6
Nota estro	1.1	1.0 – 1.1
Atividade SAMA <sup>1</sup>	1.0	1.0 – 1.0
IA SAMA 8h	0.6	0.4 – 0.9

<sup>1</sup>Sistema automatizado de monitoramento de atividade (SCR Engineering, Netanya, Israel)

A sincronização do estro e da ovulação por protocolo aumentou as taxas de prenhez em vacas saudáveis em relação à utilização de prostaglandina, independentemente da estação do ano (P=0.0263; Tabela 5).

**Tabela 5.** Influência da estação do ano e do tipo de sincronização (estro por prostaglandina; protocolo de sincronização de estro e ovulação) na prenhez à primeira inseminação artificial aos 30 dias em 509 vacas saudáveis<sup>1</sup> por modelo de regressão logística stepwise<sup>2</sup>.

Variável	TAXA DE PRENHEZ (%)				Valor de P
	Primavera	Verão	Outono	Inverno	
<b>Estação do ano</b>					<b>&lt; 0.0001</b>
<b>Tipo de sincronização</b>					<b>0.0263</b>
Estro	30.7	30.6	49.4	49.3	
Estro e Ovulação	47.0	46.9	66.2	66.1	

<sup>1</sup>Vacas sem retenção de placenta, secreção vaginal tipo A, sem doença no periparto.

<sup>2</sup>Acurácia do modelo = 77.2%

Vacas saudáveis inseminadas no outono e inverno apresentaram maiores taxas de prenhez em relação à primavera e verão (P=0.0001), 2.4 vezes chances a mais de estarem



preghes em relação à primavera e verão (Tabela 6). Os parâmetros atividade e nota de estro apresentados pelo SAMA influenciaram positivamente a taxa de prenhez (Tabela 6).

**Tabela 6.** Razão de probabilidade de prenhez à primeira inseminação artificial aos 30 dias de vacas saudáveis em relação às estações do ano em comparação com a primavera, nota do estro, atividade do SAMA e sincronização com PGF.

Variável	OR	95% IC
Verão	0.9	0.4 – 2.2
Outono	2.4	1.1 – 5.3
Inverno	2.4	1.1 – 5.2
Nota estro	1.1	1.0 – 1.1
Atividade SAMA <sup>1</sup>	1.0	1.0 – 1.0

<sup>1</sup>Sistema automatizado de monitoramento de atividade (SCR Engineering, Netanya, Israel)

#### 4. DISCUSSÃO

O ITU médio no inverno foi de 68.94, e animais em local com ITU próximo a 65 estão dentro da zona de termo neutralidade e em condições favoráveis a um bom desempenho reprodutivo (Wheelock et al., 2010). Segundo Gernand et al. (2019), as vacas apresentam boas taxas de prenhez (30 a 40%) quando o ITU está próximo a 65, mas se a zona de termo neutralidade for excedida, essas taxas sofrem quedas substanciais, chegando a 16% quando em ITU de 80.

Em relação ao Modelo 1, animais múltiparos apresentaram maiores taxas de prenhez em comparação com os primíparas, tais dados divergindo de Polsky et al. (2017) e Tippenhauer et al. (2021a, 2021b), que observaram maiores taxas de prenhez em primíparas do que em múltiparas holandesas (27% vs 20% e 29,4% vs 22,1%, respectivamente) ao utilizar o SAMA para monitorar o estro.

O pior desempenho das primíparas em relação às múltiparas neste estudo pode ser explicado pelo maior tempo de recuperação do balanço energético negativo (BEN) em razão de sua maior exigência de crescimento e produção, acarretando, conseqüentemente, atraso na recuperação de suas funções fisiológicas e reprodutivas.

Vacas primíparas e múltiparas têm diferenças comportamentais e alimentares entre si. As primíparas têm desvantagens, uma vez que ainda não passaram por todas as mudanças e eventos estressantes do período de transição como reagrupamento, mudança de dieta, parto e

início primeira da lactação (Neave et al., 2017).

O BEN afeta o desempenho reprodutivo de fêmeas bovinas, influenciando principalmente o retorno à ciclicidade e a queda na fertilidade (Cozer et al., 2020). Tal fato é causado por alterações na atividade ovariana provocadas pelos menores níveis plasmáticos de glicose, insulina, LH e P<sub>4</sub>, (Dias et al., 2009), interferindo negativamente na eficiência reprodutiva.

Fêmeas com retenção de placenta, com alguma presença de material mucopurulento na secreção vaginal (Muco B, C, D e E) entre o 11<sup>o</sup> e 17<sup>o</sup> dia pós-parto ou com alguma doença, apresentaram menores chances de prenhez. Tais resultados reforçam aqueles encontrados por Mohtashamipou et al. (2020) que afirmam que vacas com algum distúrbio de saúde pós-parto apresentam menores taxas de prenhez e maiores taxas de perda de prenhez após inseminação artificial em tempo fixo, por terem baixas concentrações de P<sub>4</sub> e altas de PGF, em relação àquelas que não têm qualquer distúrbio. A redução de P<sub>4</sub> está relacionada com a presença de citocinas secretadas pelo endométrio infectado (Okuda & Sakumoto, 2003), que ativam a enzima COX-2 e induzem a produção específica de prostaglandinas, promovendo a luteólise (Vagnoni et al., 2001; Marques et al., 2007).

Vacas inseminadas com maior proximidade à ovulação (10 horas após o alarme do SAMA) apresentam melhores taxas de prenhez. A inseminação deve ser feita no momento em que uma maior quantidade de espermatozoides chegue ao istmo antes da ovulação e tenha acesso à zona pelúcida (Saacke, 2000).

Alguns dos fatores preditores da vida útil e da fertilidade do gameta masculino são a integridade da membrana plasmática e sua motilidade (Oliveira et al., 2013), assim como o transporte do espermatozoide no trato reprodutor feminino (Kolle, 2015).

Richardson et al. (2017) encontraram maiores taxas de prenhez em fêmeas inseminadas 60 horas após a remoção do dispositivo de P<sub>4</sub> em relação a 36 horas, possivelmente pela maior quantidade de espermatozoides viáveis no momento da IA, quando realizada mais próxima da ovulação.

A viabilidade espermática é afetada pelas diferentes formas de criopreservação, sendo que o sêmen bovino refrigerado, em comparação ao congelado, apresenta maior taxa de concepção, por ser viável por um maior período de tempo no trato reprodutivo da fêmea (Silva et al., 2013). Segundo Watson (2000), o potencial fertilizador do sêmen fresco fica reduzido significativamente quando congelado devido ao processo de criopreservação, que consiste no resfriamento, adição e penetração do crioprotetor, envase, congelação, armazenamento e descongelamento dos espermatozoides, o que pode justificar um menor tempo

de viabilidade espermática e assim a necessidade de a inseminação ser feita mais próxima da ovulação.

A criopreservação, além de alterar o volume celular, promove uma série de eventos estressores na célula espermática em razão da vulnerabilidade da membrana plasmática (Giraud et al., 2000). Os danos causados às mitocôndrias reduzem a motilidade espermática pós-descongelamento, uma vez que a síntese de energia necessária para o deslocamento dos espermatozoides no trato reprodutivo da fêmea é reduzida (Ortega-Ferrusola et al., 2009).

Em estudos anteriores, era conhecido que a ovulação ocorria em média de 29 a 33 horas após o início do aumento da atividade e de 17 a 19 horas após o término do aumento da atividade em vacas holandesas em lactação (Hockey et al., 2010). Nelson et al. (2016) encontraram que o tempo médio de estro detectado pelo SAMA até o momento da ovulação foi de 25 horas para novilhas e de 23 horas para vacas, com intervalo entre 11 e 29 horas e 19 e 25 horas, respectivamente.

Neste estudo, vacas inseminadas 10 horas após o alarme do SAMA, ou seja, mais próximo da ovulação, apresentaram melhores taxas de prenhez, independentemente da paridade. Resultados que divergem de LeRoy et al. (2018), que afirmaram que vacas primíparas inseminadas dentro de 0 a 8 horas após a identificação do estro tiveram 1.8 e 2.1 chances a mais de prenhez do que quando a IA foi feita entre 8 e 12 ou 16 e 24 horas, respectivamente.

Fêmeas inseminadas no outono e no inverno apresentaram mais chances de estarem prenhes em relação àquelas inseminadas na primavera. Dados que confirmam aqueles encontrados por De Souza et al. (2016), que verificaram maiores taxas de concepção no outono-inverno do que na primavera-verão em vacas mestiças Holandês x Gir (31.75% vs 25.49%,  $P=0.0146$ ).

As diferentes estações do ano em que a IA é feita influenciam o conforto térmico animal, interferindo nas taxas de concepção de vacas leiteiras (Hooper et al., 2018). As fêmeas inseminadas durante os meses mais quentes do ano têm redução em sua fertilidade em consequência do aumento da umidade (De Rensis & Scaramuzzi, 2003) e das altas temperaturas (López-Gatiús, 2013).

Entre os fatores que podem influenciar o desempenho reprodutivo de vacas leiteiras, estão índices ambientais como umidade, temperatura e estação do ano (McManus et al., 2002). Alta temperatura ambiente e alta umidade relativa do ar reduzem a manifestação do estro, as taxas de ovulação e prenhez (Lopez-Gatiús et al., 2005). O estresse térmico causa redução na taxa de prenhez por prejudicar o desenvolvimento folicular e embrionário do

animal, além de também reduzir a expressão do comportamento de estro (Schuller et al., 2017).

Entre as modificações que as vacas da raça holandesa sofrem quando expostas ao estresse térmico, estão a redução dos níveis séricos de estrógeno ( $E_2$ ) e do grau de dominância folicular e a redução da atividade folicular, da qualidade ovocitária e do embrião, além de modificações do ambiente uterino, que dificultam a implantação do embrião (Chang et al., 2017).

Vacas inseminadas em estações do ano com ITU mais elevado tiveram menores taxas de prenhez em comparação com as inseminadas com ITU mais ameno, isso ocorre pois o estresse térmico provocado por um ITU alto reduz os níveis de colesterol plasmático e, conseqüentemente, as concentrações plasmáticas de  $E_2$  e  $P_4$  (Ronchi et al., 2001). Quando o aumento do ITU ocorre uma semana antes da IA, há uma associação entre o encurtamento da duração do estro, a diminuição do pico de atividade e a taxa de prenhez da vaca (Tippenhauer et al., 2021b).

Ao analisar o Modelo 2, vacas saudáveis inseminadas no outono e inverno apresentaram maiores taxas de prenhez em relação à primavera e verão, resultados que confirmam aqueles encontrados por Willard et al. (2003), que relataram que as taxas de prenhez nas estações mais frias geralmente são duas a três vezes maiores do que as apresentadas durante a estação de verão. Isto ocorre porque o calor influencia a capacidade de esteroidogênese, a dinâmica folicular, a qualidade dos ovócitos e o desenvolvimento embrionário (Roth et al., 2000), o que pode levar a uma baixa fertilidade das vacas durante os períodos mais quentes do ano.

Os resultados desta pesquisa podem ter sido em decorrência de as estações mais quentes terem provocado estresse térmico nos animais e, em resposta, o eixo hipotálamo-hipófise-adrenal e o sistema simpático-adrenal terem sido afetados (Tilbrook, 2000). Neste contexto, há maior produção do hormônio adrenocorticotrófico, que estimula o aumento das concentrações de cortisol que, por sua vez, reduz a liberação de LH em bovinos (Aggarwal & Upadhyay, 2012). Como consequência, há atraso no crescimento e na maturação folicular e redução no grau de dominância do folículo dominante (Khodaei-Motlagh et al., 2011), atrasando a ovulação.

As maiores taxas de prenhez foram observadas em vacas saudáveis que tiveram o estro e a ovulação sincronizados, fato que pode ser justificado por fêmeas de alta produção demandarem maior ingestão de matéria seca, o que aumenta o fluxo gastrointestinal e, conseqüentemente, o fluxo sanguíneo hepático e a metabolização dos hormônios esteroides

como o  $E_2$  e a  $P_4$  (Nascimento et al., 2013). A redução da concentração plasmática de  $P_4$  causa maturação anormal do ovócito, falha na implantação e morte embrionária precoce em vacas leiteiras (Dash et al., 2016).

Essas taxas elevadas podem ser explicadas pelo incremento da concentração de  $P_4$  plasmática, em razão do protocolo de sincronização de estro e ovulação (Melo et al, 2016; Pereira et al., 2017a, b, Pereira et al., 2020), reduzindo o tamanho do folículo pré-ovulatório, melhorando a competência do ovócito ovulado e a qualidade do embrião (Pereira et al., 2017b, 2020). Adicionalmente, a utilização de dois dispositivos de  $P_4$  nos protocolos de sincronização de ovulação aumenta a taxa de concepção em vacas leiteiras com folículos grandes (Pereira et al., 2017b). Em contrapartida, as vacas saudáveis que receberam apenas PGF para sincronização neste estudo possivelmente tinham menor concentração de  $P_4$ , o que aumentou o diâmetro do folículo ovulatório, acarretando menor taxa de prenhez (Pereira et al., 2020).

Os parâmetros atividade e nota de estro apresentados pelo SAMA influenciaram positivamente a taxa de prenhez. O aumento da atividade das vacas é um dos principais indicativos de estro, e a nota do estro é mensurada de acordo com seu comportamento (Stevenson et al., 2014). Da mesma forma, animais com elevadas notas de estro têm maior ocorrência de prenhez por IA (Burnett et al., 2018).

Reforçando os resultados aqui encontrados, em estudo desenvolvido na Alemanha por Tiphpenhauer et al. (2021b), a nota de estro, categorizada de acordo com o pico de atividade das fêmeas definida como baixa ou alta, não diferiu entre paridades e houve uma associação com a taxa de prenhez, sendo que animais que apresentaram nota alta tiveram 1.35 chances a mais de engravidarem em comparação com vacas com a nota baixa.

Madureira et al. (2019) afirmaram que vacas holandesas lactantes com expressão de intensidade forte de estro apresentam maiores taxas de prenhez (35,1%) em comparação com as de intensidade moderada (27,3%) ou que não expressaram estro (6,2%).

As tecnologias de modelos de sensores de monitoramento de atividade têm um enorme potencial para mensurar indicadores comportamentais específicos que podem ser indicativos de saúde, bem-estar, condições de estresse térmico, estro, parto e monitorar mais de um parâmetro de comportamento ao mesmo tempo, o que melhora o potencial da tecnologia do sensor (Chapa et al., 2020).

As medidas de expressão do estro podem ser usadas para prever a fertilidade no momento da IA e possivelmente ser usadas como uma ferramenta para auxiliar as estratégias de tomada de decisão de programas de reprodução (Madureira et al., 2019).

Dessa forma, o ajuste do tempo de inseminação em relação ao início do estro e o uso de protocolos hormonais para sincronização de estro e ovulação podem melhorar significativamente a probabilidade de prenhez de vacas em lactação. Considerando esses aspectos, pesquisadores podem melhorar os modelos de precisão do SAMA para nota e horário de IA pela inclusão de diferentes parâmetros, visando a aumentar a taxa de prenhez.

## 5. CONCLUSÃO

A melhor estratégia de manejo reprodutivo para aumentar as taxas de prenhez à primeira inseminação artificial em vacas saudáveis é o uso da sincronização do estro e ovulação. Considerando o rebanho como um todo, a inseminação às 10 horas após o alarme do SAMA melhora a eficiência reprodutiva das vacas.

A taxa de prenhez após a primeira inseminação artificial foi influenciada pela estação do ano, paridade, pico de atividade, tipo de sincronização, nota do estro, momento da inseminação e pelo histórico de saúde no periparto. Diante disso, a otimização dos modelos do SAMA pela inclusão destas informações pode favorecer a correta identificação do estro e aperfeiçoar o alarme do SAMA em relação ao momento ideal para a inseminação artificial, incrementando ainda mais o desempenho reprodutivo em vacas leiteiras.

## 6. REFERÊNCIAS

Abreu, B. da S, Barbosa, S. B. P., da Silva, E. C., Santoro, K. R., Batista, Â. M. V., Martinez, R. L. V., Valenza, L. M. & Jatobá, R. B. (2020). Productive and reproductive performance of Holstein cows in Agreste, Pernambuco, from 2007 to 2017. *Semina: Ciências Agrárias*, 41(2), 571-586. DOI: 10.5433/1679r-0359.2020v41n2p571

Aggarwal, A, & Upadhyay, R. (2012). *Heat stress and animal productivity*. New York: Springer Science & Business Media.

Barbosa, C. F., Jacomini, J. O., Diniz, E. G., Santos, R. M. D. & Tavares, M. (2011). Inseminação artificial em tempo fixo e diagnóstico precoce de gestação em vacas leiteiras mestiças. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40(1), 79-84. DOI: 10.1590/S1516-35982011000100011

Buso, R. R., Campos, C. C., Santos, T. R., Saut, J. P. E. & Santos, R. M. (2018). Retenção de placenta e endometrite subclínica: prevalência e relação com o desempenho reprodutivo de vacas leiteiras mestiças. *Pesquisa Veterinária Brasileira*, 38(1), 1-5. DOI: 10.1590/1678-5150-pvb-4707

Burnett, T. A., Polsky, L., Kaur, M. & Cerri, R. L. (2018). Effect of estrous on timing and failure of ovulation of Holstein dairy cows using automated activity monitors. *Journal of Dairy Science*, 101(12), 11310-11320. DOI: 10.3168/jds.2018-15151

Campos, C. C. & dos Santos, R. M. (2015). Conception rate and estrous return detection after TAI in Holstein cows. *Semina: Ciências Agrárias*, 36(1), 1945-1953. DOI: 10.5433/1679-0359.2015v36n3Supl1p1945

Carvalho, B. C.; Pires, M. de F. A.; Arbex, W. e Santos, G. B. (2015). Uso de tecnologias de precisão na reprodução de bovinos leiteiros. *Cadernos Técnicos de Veterinária e Zootecnia*, 79, 29-40.

Chapa, J. M., Maschat, K., Iwersen, M., Baumgartner, J. & Drillich, M. (2020). Accelerometer systems as tools for health and welfare assessment in cattle and pigs—a review. *Behavioural Processes*, 181, 104262. DOI: 10.1016/j.beproc.2020.104262

Cozer, L. F., Risques, P., Silva, J.C., Toma, C. D.M., Colvara, I. G., Carvalho, A., de M., Ferrante, M. & Toma, H. S. (2020). Energia e proteína na reprodução de fêmeas bovinas. *PUBVET*, 14(12),141. DOI: 10.31533/pubvet.v14n12a703.1-9

Dash, S., Chakravarty, A. K., Singh, A., Upadhyay, A., Singh, M. & Yousuf, S. (2016). Effect of heat stress on reproductive performances of dairy cattle and buffaloes: A review. *Veterinary World*, 9(3), 235-244. DOI: 10.14202/vetworld.2016.235-244.

De Rensis, F. & Scaramuzzi, R. J. (2003). Heat stress and seasonal effects on reproduction in the dairy cow—a review. *Theriogenology*, 60(6), 1139-1151. DOI: 10.1016/S0093-691X(03)00126-2

De Souza, F. R., Campos, C. C., da Silva, N. A. M. & dos Santos, R. M. (2016). Influence of

seasonality, timing of insemination and rectal temperature on conception rate of crossbred dairy cows. *Semina: Ciências Agrárias*, 37(1), 155-162. DOI: 10.5433/1679-0359.2016v37n1p155

Dias, J. C., Martins, J. A. M., Emerick, L. L., Souza, F. A. & Andrade, V. J. (2009). Efeitos da suplementação lipídica no aumento da eficiência reprodutiva de fêmeas bovinas. *Revista Brasileira de Reprodução Animal*, 33(2), 95–104.

Ferguson, J. D., Galligan, D. T. & Thomsen, N. (1994). Principal descriptors of body condition score in Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 77(9), 2695-2703.. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(94)77212-X

Fox, J. & Weisberg, S. (2019). *An {R} Companion to Applied Regression*, Third Edition. Thousand Oaks CA: Sage. <https://socialsciences.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion/>

Fricke, P.M, Giordano, J.O., Valenza, A., Lopes Júnior. G., Amundson, M.C. & Carvalho, P.D. (2014). Reproductive performance of lactating dairy cows managed for first service using timed artificial insemination with or without detection of estrus using an activity-monitoring system. *Journal of Dairy Science* 97: 2771-2781. DOI: 10.3168/jds.2013-7366

Gernand, E., König, S. & Kipp, C. (2019). Influence of on farm measurements for heat stress indicators on dairy cow productivity, female fertility, and health. *Journal of Dairy Science*, 102(7), 6660– 6671. DOI: 10.3168/jds.2018-16011

Giraud, M. N., Motta, C., Boucher, D. & Grizard, G. (2000) Membrane fluidity predicts the outcome of cryopreservation of human spermatozoa. *Human Reproduction*, 15, 2160-2164.

Hockey, C.; Morton, J.; Norman, S. & McGowan, M. (2010). Evaluation of a neck mounted 2-hourly activity meter system for detecting cows about to ovulate in two paddock-based Australian dairy herds. *Reproduction Domestic Animal* 45: 107–117. DOI: 10.1111/j.1439-0531.2009.01531.x

Hooper, H. B., Salomão, D. D. O. S., Ayres, G. F., Titto, C. G., Santos, R. D. & Nascimento, M. D. M. (2018). Conforto térmico de vacas leiteiras mestiças durante a inseminação e a



relação com a taxa de concepção. *Revista Acadêmica: Ciência Animal*, 16(1). DOI: 10.7213/1981-4178.2018.161006.

Inchaisri, C., Jorritsma, R., Vos, P. L., Van der Weijden, G. C., & Hogeveen, H. (2010). Economic consequences of reproductive performance in dairy cattle. *Theriogenology*, 74 (5), 835-846. DOI: 10.1016/j.theriogenology.2010.04.008

Khodaei-Motlagh, M., Shahneh, A. Z., Masoumi, R. & Derensis, F. (2011 ). Alterations in reproductive hormones during heat stress in dairy cattle. *African Journal Biotechnology*, 10(29), 5552-5558. DOI: 10.5897/AJB09.033

Kolle, S. (2015). Transport, distribution and elimination of mammalian sperm following natural mating and insemination. *Reproduction in Domestic Animals*, 50, 2-6. DOI: 10.1111/rda.12576.

Kuhn, M. (2020). caret: Classification and Regression Training. R package version 6.0-86. <https://CRAN.R-project.org/package=caret>

LeRoy, C. N. S., Walton, J. S. & LeBlanc, S. J. (2018). Estrous detection intensity and accuracy and optimal timing of insemination with automated activity monitors for dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 101(2), 1638-1647. DOI: 10.3168/jds.2017-13505

Lopez-Gatius, F.; Lopez-Bejar, M.; Fenech, M.& Hunter, R. H. F. (2005). Ovulation failure and double ovulation in dairy cattle: risks factors and effects. *Theriogenology*, 63, 1298-1307. DOI: 10.1016/j.theriogenology.2004.06.010

López-Gatius, F. (2013). Approaches to increase reproductive efficiency in artificially inseminated dairy cows. *Animal Reproduction (AR)*, 10(3), 143-147.

Mader TL, Davis MS, Brown-Brandl T. Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle. *J Anim Sci*. 2006;84:712–9. doi: 10.2527/2006.843712x.

Madureira, A. M. L., Polsky, L. B., Burnett, T. A., Silper, B. F., Soriano, S., Sica, A. F., Pohler, K. G., Vasconcelos, J. L. M. & Cerri, R. L. A. (2019). Intensity of estrus following an

estradiol-progesterone-based ovulation synchronization protocol influences fertility outcomes. *Journal of Dairy Science*, 102(4), 3598-3608. DOI: 10.3168/jds.2018-15129

Marques, O., Veronese, A., Merenda, V. R., Bisinotto, R. S. & Chebel, R. C. (2020). Effect of estrous detection strategy on pregnancy outcomes of lactating Holstein cows receiving artificial insemination and embryo transfer. *Journal of Dairy Science*, 103(7), 6635-6646. DOI: 10.3168/jds.2019-17892

Marques, T. C., Leão, K. M., Viu, M. A. O. & Sartori, R. (2013). The effects of progesterone treatment following artificial insemination on the reproductive performance of dairy cows. *Tropical Animal Health and Production*, 46, 2, 405-410. DOI: 10.1007/s11250-013-0504-2

Marques, V. B., Bertan, C. M., Almeida, A. B., Meirelles, F. V., Papa, P. C. & Binelli, M. (2007). Interferon-tau e o reconhecimento da gestação em bovinos. *Revista Brasileira de Reprodução Animal*, 31(4), 479-488.

Mayo, L. M., Silvia, W. J., Ray, D. L., Jones, B. W., Stone, A. E., Tsai, I. C., Clark, J. D., Bewley, G. & Heersche Jr, G. (2019). Automated estrous detection using multiple commercial precision dairy monitoring technologies in synchronized dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 102(3), 2645-2656. DOI: 10.3168/jds.2018-14738

McManus, C., Saueressig, M. G., Falcão, R. A., Serrano, G., Marcelino, K. R. A. & Paludo, G. R. (2002). Componentes Reprodutivos e Produtivos no Rebanho de Corte da Embrapa Cerrados. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 31(2), 648-657. DOI: 10.1590/S1516-35982002000300015

Melo, L. F., P. L. J. Monteiro Jr., R. S. Surjus, J. N. Drum, W. C. Wiltbank, and R. Sartori. (2016). Progesterone-based fixed-time artificial insemination protocols for dairy cows: Gonadotropin-releasing hormone versus estradiol benzoate at initiation and estradiol cypionate versus estradiol benzoate at the end. *J. Dairy Sci.* 99:9227-9237. DOI: 10.3168/jds.2016-11220.

Mohtashamipour, F., Dirandeh, E., Ansari-Pirsaraei, Z. & Colazo, M. G. (2020). Postpartum health disorders in lactating dairy cows and its associations with reproductive responses and

pregnancy status after first timed-AI. *Theriogenology*, 141, 98-104. DOI: 10.1016/j.theriogenology.2019.09.017

Nascimento, A. B., de Souza, A. H., Sartori, R. & Wiltbank, M. C. (2013). Produção e metabolismo da progesterona e seu papel antes, durante e depois da inseminação artificial influenciando a fertilidade de vacas leiteiras de alta produção. *Acta Scientiae Veterinariae*, 41(1), 1-14.

National Research Council. Nutrient requirements of dairy cattle. (2001). 7th Ed National Academy of Sciences. Washington, DC, USA.

Neave, H. W., Lomb, J., Von Keyserlingk, M. A. G., Behnam-Shabahang, A. & Weary, D. M. (2017). Parity differences in the behavior of transition dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 100(1), 548-561.

Nelson, S. T., Haadem, C. S., Nødtvedt, A., Hessle, A. & Martin, A. D. (2016). Automated activity monitoring and visual observation of estrus in a herd of loose housed Hereford cattle: Diagnostic accuracy and time to ovulation. *Theriogenology*, 87, 205-211. DOI: 10.1016/j.theriogenology.2016.08.025

Okuda, K. & Sakumoto, R. (2003). Multiple roles of TNF super family members in corpus luteum function. *Reproductive Biology and Endocrinology*, 1, 1-10. DOI: 10.1186/1477-7827-1-95

Oliveira, L. Z., de Arruda, R. P., de Andrade, A. F. C., Celeghini, E. C. C., Reeb, P. D., Martins, J. P. N., dos Santos, R. M., Beletti, M. E., Peres, R. F. G., Monteiro, F. M. & de Lima, V. F. M. H. (2013). Assessment of in vitro sperm characteristics and their importance in the prediction of conception rate in a bovine timed-AI program. *Animal reproduction science*, 137(3-4), 145-155. DOI: 10.1016/j.anireprosci.2013.01.010

Ortega-Ferrusola, C., García, B. M., Gallardo-Bolaños, J. M., González-Fernández, L., Rodríguez-Martinez, H., Tapia, J.Á. & Peña, F.J. (2009) Apoptotic markers can be used to forecast the freezeability of stallion spermatozoa. *Animal Reproductive Science*. 114(4), 393–403. DOI: 10.1016/j.anireprosci.2008.10.005

Pereira, M. H. C., M. C. Wiltbank, T. G. Guida, F. R. Lopes Jr., B. I. Cappelozza, and J. L. M. Vasconcelos. (2020). Evaluation of presynchronization and addition of GnRH at the beginning of an estradiol/ progesterone protocol on circulating progesterone and fertility of lactating dairy cows. *Theriogenology* 147:124–134. DOI: 10.1016/j.theriogenology.2019 .11 .025

Pereira, M.H.C., Sanches, C.P., Guida, T.G., Wiltbank, M.C. & Vasconcelos, J.L.M. (2017a). Comparison of fertility following use of one versus two intravaginal progesterone inserts in dairy cows without a CL during a synchronization protocol before timed AI or timed embryo transfer. *Theriogenology*, 89, 72-78. DOI: 10.1016/j.theriogenology.2016.10.006.

Pereira, M. H. C., M. C. Wiltbank, T. G. Guida, F. R. Lopes Jr., and J. L. M. Vasconcelos. (2017b). Comparison of two protocols to increase circulating progesterone concentration before timed artificial insemination in lactating dairy cows with or without elevated body temperature. *J. Dairy Sci.* 100:8455–8470. DOI: 10.3168/jds .2016 -12145.

Polsky, L. B., Madureira, A. M., Drago Filho, E. L., Soriano, S., Sica, A. F., Vasconcelos, J. L. & Cerri, R. L. (2017). Association among ambient temperature and humidity, vaginal temperature, and automatic activity monitoring on induced estrus in lactating cows. *Journal of dairy science*, 100(10), 8590-8601. DOI: 10.3168/jds.2017-12656

Ribeiro, E.S., Gomes, G., Greco, L.F., Cerri, R.L.A., Vieira-Neto, A., Monteiro Jr, P.L.J, Lima, F.S., Bisinotto, R.S., Thatcher, W.W. & Santos, J.E.P. (2016). Carryover effect of postpartum inflammatory diseases on developmental biology and fertility in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 99 (3), 2201–2220. DOI: 10.3168/jds.2015-10337.

Richardson, B. N., Larimore, E. L., Walker, J. A., Utt, M. D., DeJarnette, J. M. & Perry, G. A. (2017). Comparison of fertility of liquid or frozen semen when varying the interval from CIDR removal to insemination. *Animal Reproduction Science*, 178, 61-66.

Ronchi, B., Stradaioli, G., Verini.Supplizi, A., Bernabucci, U., Lacetera, N., Accorsi, P.A., Nardone, A. & Seren, E. (2001). Influence of heat stress or feed restriction on plasma progesterone, oestradiol-17 $\beta$ , LH, FSH, prolactin and cortisol in Holstein heifers. *Livestock*

Production Science., 68 (2-3), 231-241. DOI: 10.1016/S0301-6226(00)00232-3.

Roth, Z., Meidan, R., Braw-Tal, R. & Wolfenson, D. (2000). Immediate and delayed effects of heat stress on follicular development and its association with plasma FSH and inhibition concentration in cows. *Journal of Reproduction and Fertility*, 120(1), 83-90. DOI: 10.1530/jrf.0.1200083.

Saacke, R. G., Dalton, J. C., Nadir, S., Nebel, R. L. & Bame, J. H. (2000). Relationship of seminal traits and insemination time to fertilization rate and embryo quality. *Animal Reproduction Science*, 60, 663-677. DOI: 10.1016/s0378-4320(00)00137-8.

Saint Dizier, M. & Chastant Maillard, S. (2012). Towards an automated detection of oestrus in dairy cattle. *Reproduction in domestic animals*, 47(6), 1056-1061. DOI: 10.1111/j.1439-0531.2011.01971.x.

Schüller, L. K., Michaelis, I. & Heuwieser, W. (2017). Impact of heat stress on estrus expression and follicle size in estrus under field conditions in dairy cows. *Theriogenology*, 102, 48– 53. DOI: 10.1016/j.theriogenology.2017.07.004.

Sheldon, I. M., Lewis, G. S., Leblanc, S. & Gilbert, R. O. (2006). Defining postpartum uterine disease in cattle. *Theriogenology*, 65, 1516-1530. DOI: 10.1016/j.theriogenology.2005.08.021

Siddiqui, M. A. R., Das, Z. C., Bhattacharjee, J., Rahman, M. M., Islam, M. M., Haque, M. A., Parrish, J. J. & Shamsuddin, M. (2013). Factors affecting the first service conception rate of cows in smallholder dairy farms in Bangladesh. *Reproduction in Domestic Animals*, 48(3), 500-505. DOI: 10.1111/rda.12114.

Silva, N., Leão, K., Marques, T., Silva, R. & Rodrigues, M. (2013). Uso de sêmen fresco e refrigerado em programas de inseminação artificial em tempo fixo em fêmeas bovinas. *Enciclopédia Biosfera*, 9 (17), 2537.

Sprecher, D. J., Hostetler, D. E. & Kaneene, J. B. (1997). A lameness scoring system that uses posture and gait to predict dairy cattle reproductive performance. *Theriogenology* 47(1), 179–

1187. DOI: 10.1016/S0093-691X(97)00098-8.

Stevenson, J. S., Hill, S. L., Nebel, R. L. & DeJarnette, J. M. (2014). Ovulation timing and conception risk after automated activity monitoring in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 97:4296–308. DOI: 10.3168/jds.2013-7873.

Tilbrook, A.J., Turner, A.I. & Clarke, I.J. (2000). Effects of stress on reproduction in non-rodent mammals: the role of glucocorticoids and sex differences. *Reviews of Reproduction*, 5(2), 105-113. DOI: 10.1530/ror.0.0050105.

Tippenhauer, C. M., Plenio, J. L., Madureira, A. M. L., Cerri, R. L. A., Heuwieser, W., & Borchardt, S. (2021a). Timing of artificial insemination using fresh or frozen semen after automated activity monitoring of estrus in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 104(3), 3585-3595. DOI: 10.3168/jds.2020-19278

Tippenhauer, C. M., Plenio, J. L., Madureira, A. M. L., Cerri, R. L. A., Heuwieser, W., & Borchardt, S. (2021b). Factors associated with estrous expression and subsequent fertility in lactating dairy cows using automated activity monitoring. *Journal of Dairy Science*, 104(5), 6267-6282. DOI: 10.3168/jds.2020-19578

Thom, E. C. (1959). The discomfort index. *Washington: Weatherwise*, 12 (2), 57-61.

Vagnoni, K. E., Abbruzzese, S. B., Christiansen, N. D. & Holyoak, G. R. (2001). The influence of the phase of the estrous cycle on sheep endometrial tissue response to lipopolysaccharide. *Journal of Animal Science*, 79(2), 463-469. DOI: 10.2527/2001.792463x

Watson, P. F. (2000). The causes of reduced fertility with cryopreserved semen. *Animal Reproduction Science*, 60, 481-492.

Weik, F., Archer, J., Morris, S., Garrick, D. & Hickson, R. (2020). Relationship between body condition score and pregnancy rates following artificial insemination and subsequent natural mating in beef cows on commercial farms in New Zealand. *New Zealand Journal of Animal Science and Production*, 80, 14-20.

Wheelock, J. B., Rhoads, R. P., VanBaale, M. J., Sanders, S. R. & Baumgard, L. H. (2010). Effects of heat stress energetic metabolism in lactating holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 92 (2), 644-655. DOI: 10.3168/jds.2009-2295

Wickham et al., (2019). Welcome to the tidyverse. *Journal of Open Source Software*, 4(43), 1686. DOI:10.21105/joss.01686.

Willard, S., Gandy, S., Bowers, S., Graves, K., Elias, A. & Whisnant, C. (2003). The effects of GnRH administration postinsemination on serum concentrations of progesterone and pregnancy rates in dairy cattle exposed to mild summer heat stress. *Theriogenology*, 59(8), 1799-1810. DOI: 10.1016/S0093-691X(02)01232-3