

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL APLICADA AO COMPORTAMENTO DE VACAS LEITEIRAS: PERSPECTIVAS PARA SAÚDE, BEM-ESTAR E PRODUTIVIDADE

**ARTIFICIAL INTELLIGENCE APPLIED TO DAIRY COW BEHAVIOUR:
PERSPECTIVES FOR HEALTH, WELFARE AND PRODUCTIVITY**

Ciências Agrárias • 27/07/2026

REGISTRO DOI: [10.70773/revistatopicos/784817254](https://doi.org/10.70773/revistatopicos/784817254)

Mateus de Andrade da Silva¹

Adria Barreto dos Santos²

Marilene Felipe Santiago³

Lucas Lacerda de Souza⁴

Maria Eduarda de Paula Farias⁵

Marianna Cunningham de Albuquerque⁶

Thiago José Gonçalves Cavalcanti de Souza⁷

Amanda Martins Andujar⁸

Felipe Pereira de Paula⁹

Filipe Molinar Machado¹⁰

RESUMO

O comportamento de vacas leiteiras constitui um indicador sensível de alterações fisiológicas, sanitárias e ambientais. Com a expansão da pecuária leiteira de precisão, ferramentas baseadas em inteligência artificial vêm sendo aplicadas para reconhecer padrões comportamentais, detectar alterações precoces e apoiar decisões relacionadas à saúde, bem-estar e produtividade animal. Foi conduzida uma revisão tecnológica do tipo state-of-the-art, com abordagem narrativa crítica, baseada em publicações indexadas nas bases Scopus, Web of Science, SciELO e Google Scholar, entre 2016 e 2026. Foram priorizados estudos sobre inteligência artificial, aprendizado de máquina, aprendizado profundo, visão computacional, sensores vestíveis, comportamento de vacas leiteiras, saúde, bem-estar e produtividade. As evidências indicam que acelerômetros, coleiras inteligentes, sensores auriculares, sistemas de localização, ordenha automatizada e visão computacional permitem monitorar comportamentos como ruminação, alimentação, repouso, locomoção, estro e resposta ao estresse térmico. Quando associados a algoritmos de inteligência artificial, esses dados podem auxiliar na detecção de claudicação, mastite, distúrbios metabólicos, alterações reprodutivas e queda de desempenho produtivo. Entretanto, persistem desafios relacionados à qualidade dos bancos de dados, validação em diferentes sistemas produtivos, interpretabilidade dos modelos e integração entre plataformas. A inteligência artificial aplicada ao comportamento de vacas leiteiras representa uma fronteira estratégica para a medicina veterinária preditiva. Sua integração com sensores e sistemas digitais pode ampliar a capacidade de monitoramento contínuo, melhorar o bem-estar animal e aumentar a eficiência produtiva dos rebanhos leiteiros.

Palavras-chave: Aprendizado de máquina; Aprendizado profundo;

Bovinocultura leiteira; Pecuária de precisão; Sensores; Visão computacional.

ABSTRACT

Dairy cow behaviour is a sensitive indicator of physiological, health-related and environmental changes. With the expansion of precision dairy farming, artificial intelligence-based tools have been increasingly applied to recognise behavioural patterns, detect early alterations and support decision-making related to animal health, welfare and productivity. A state-of-the-art technological review with a critical narrative approach was conducted based on publications indexed in Scopus, Web of Science, SciELO and Google Scholar between 2016 and 2026. Studies addressing artificial intelligence, machine learning, deep learning, computer vision, wearable sensors, dairy cow behaviour, health, welfare and productivity were prioritised. The evidence indicates that accelerometers, smart collars, ear sensors, positioning systems, automated milking systems and computer vision enable the monitoring of behaviours such as rumination, feeding, lying, locomotion, oestrus and responses to heat stress. When associated with artificial intelligence algorithms, these data may support the detection of lameness, mastitis, metabolic disorders, reproductive alterations and reduced productive performance. However, challenges remain regarding database quality, validation across different production systems, model interpretability and integration among platforms. Artificial intelligence applied to dairy cow behaviour represents a strategic frontier for predictive veterinary medicine. Its integration with sensors and digital systems may expand continuous monitoring capacity, improve animal welfare and increase the productive efficiency of dairy herds.

Keywords: Machine learning; Deep learning; Dairy cattle; Precision livestock farming; Sensors; Computer vision.

1. INTRODUÇÃO

A bovinocultura leiteira contemporânea enfrenta o desafio de aumentar a eficiência produtiva sem negligenciar saúde, bem-estar animal e sustentabilidade. Nesse contexto, a pecuária de precisão tem se consolidado como uma abordagem estratégica para monitorar animais individualmente, integrar informações em tempo real e apoiar decisões mais rápidas e objetivas nos sistemas de produção leiteira (Berckmans, 2017; Halachmi et al., 2019).

Entre os diferentes indicadores utilizados nesse processo, o comportamento de vacas leiteiras ocupa posição central, pois reflete a interação entre metabolismo, ambiente, sanidade, reprodução e manejo. Alterações no padrão de ruminação, alimentação, repouso, locomoção e interação social podem anteceder sinais clínicos evidentes, tornando o comportamento uma fonte relevante de informação para a identificação precoce de doenças, estresse e perdas produtivas (Polsky; von Keyserlingk, 2017; Becker et al., 2021).

Tradicionalmente, a avaliação comportamental em rebanhos leiteiros era baseada na observação direta dos animais. Embora esse método seja útil em situações específicas, sua aplicação em sistemas comerciais apresenta limitações importantes, como subjetividade, demanda elevada de tempo, baixa frequência de observação e dificuldade de monitoramento contínuo em grandes rebanhos. Essas limitações reforçaram a necessidade de tecnologias capazes de registrar o comportamento animal de forma

automatizada, objetiva e individualizada (Stygar et al., 2021; Kaur et al., 2023).

Nos últimos anos, sensores vestíveis, acelerômetros, coleiras inteligentes, sensores de ruminação, sistemas de localização, câmeras, imagens térmicas e sistemas automatizados de ordenha passaram a gerar grande volume de dados sobre a rotina das vacas leiteiras. Essas ferramentas permitem acompanhar variáveis como tempo de alimentação, ruminação, atividade locomotora, repouso, frequência de ordenha, resposta ao estresse térmico e alterações associadas ao estro ou a condições sanitárias (Caja et al., 2016; Riaboff et al., 2020).

A inteligência artificial ampliou a capacidade de interpretar esses dados, permitindo a construção de modelos capazes de classificar comportamentos, identificar desvios individuais e gerar alertas precoces. Algoritmos de aprendizado de máquina e aprendizado profundo vêm sendo aplicados à detecção de claudicação, mastite, estro, estresse térmico e alterações produtivas, aproximando a bovinocultura leiteira do conceito de medicina veterinária preditiva (Liakos et al., 2018; García et al., 2020).

Apesar do crescimento expressivo da literatura sobre sensores, inteligência artificial e pecuária leiteira de precisão, ainda há necessidade de integrar criticamente as evidências disponíveis sobre comportamento, saúde, bem-estar e produtividade de vacas leiteiras. Assim, esta revisão tecnológica do tipo state-of-the-art teve como objetivo discutir as aplicações atuais e perspectivas futuras da inteligência artificial no monitoramento comportamental de vacas leiteiras, com ênfase em saúde, bem-estar animal e eficiência produtiva.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA OU REVISÃO DA LITERATURA

A pecuária leiteira de precisão representa uma evolução dos sistemas tradicionais de produção, pois incorpora tecnologias digitais para monitorar os animais de forma contínua, individualizada e orientada por dados. Diferentemente das avaliações pontuais baseadas apenas na observação humana, essa abordagem permite acompanhar variações fisiológicas, produtivas e comportamentais ao longo do tempo, favorecendo decisões mais rápidas e fundamentadas no ambiente de produção. Nesse contexto, sensores, sistemas automatizados e ferramentas computacionais passaram a compor uma nova estrutura de manejo, na qual o animal é avaliado como unidade biológica dinâmica e responsiva ao ambiente (Berckmans, 2017; Halachmi et al., 2019).

O comportamento animal é um dos principais componentes dessa transformação, uma vez que expressa respostas integradas entre saúde, metabolismo, ambiente, manejo e estado emocional. Em vacas leiteiras, comportamentos como alimentação, ruminação, repouso, locomoção, interação social e atividade reprodutiva fornecem informações relevantes sobre adaptação e conforto. Alterações nesses padrões podem indicar desequilíbrios antes mesmo do aparecimento de sinais clínicos evidentes, o que torna o comportamento uma variável estratégica para o monitoramento preventivo dos rebanhos (Polsky; von Keyserlingk, 2017; Becker et al., 2021).

Do ponto de vista conceitual, a inteligência artificial pode ser compreendida como um conjunto de métodos computacionais capazes de reconhecer padrões, aprender com dados e apoiar processos de tomada de decisão. Dentro desse campo, o

aprendizado de máquina utiliza algoritmos treinados a partir de dados históricos para realizar classificações, estimativas ou previsões. Já o aprendizado profundo, baseado em redes neurais artificiais com múltiplas camadas, tem se destacado na análise de imagens, vídeos e sinais complexos, sendo especialmente útil em aplicações que envolvem visão computacional e séries temporais comportamentais (Liakos et al., 2018; García et al., 2020).

A aplicação dessas ferramentas na bovinocultura leiteira depende diretamente da coleta adequada de dados. Sensores vestíveis, acelerômetros, coleiras inteligentes, sensores auriculares, sistemas de localização, câmeras e dispositivos acoplados à ordenha automatizada permitem registrar informações relacionadas à atividade, ruminação, alimentação, repouso, deslocamento e produção. Esses dados, quando organizados e processados por algoritmos computacionais, podem ser convertidos em indicadores objetivos do estado individual dos animais (Caja et al., 2016; Riaboff et al., 2020).

A visão computacional também tem ganhado relevância por permitir o monitoramento não invasivo dos animais. Por meio de imagens e vídeos, é possível avaliar postura, locomoção, escore corporal, frequência respiratória e padrões comportamentais sem contato direto com o animal. Essa característica é particularmente importante para reduzir interferências no comportamento natural e ampliar a viabilidade do monitoramento contínuo em sistemas comerciais de produção leiteira (Nasirahmadi et al., 2017; McDonagh et al., 2021).

A integração entre comportamento animal e inteligência artificial amplia o conceito de fenotipagem digital, no qual características

biológicas passam a ser mensuradas continuamente por tecnologias automatizadas. Dessa forma, comportamentos que antes eram registrados de maneira subjetiva ou episódica podem ser transformados em variáveis quantificáveis, comparáveis e úteis para identificar mudanças individuais ao longo do tempo. Essa abordagem fortalece a medicina veterinária preditiva, pois permite reconhecer desvios sutis em relação ao padrão normal de cada animal (Stygar et al., 2021; Kaur et al., 2023).

No contexto da saúde animal, alterações comportamentais podem estar associadas a doenças infecciosas, distúrbios metabólicos, claudicação, mastite, estresse térmico e problemas reprodutivos. No entanto, a interpretação desses sinais exige integração entre diferentes fontes de informação, pois um mesmo comportamento pode ter múltiplas causas. Por exemplo, a redução da ruminação pode estar relacionada tanto a problemas digestivos quanto a estresse térmico, dor, mudanças no manejo ou alterações alimentares. Por isso, modelos baseados em inteligência artificial tendem a apresentar maior utilidade quando combinam dados comportamentais, produtivos, ambientais e sanitários (O'Leary et al., 2020; Niloofar et al., 2021).

Em relação ao bem-estar animal, a utilização de tecnologias inteligentes permite ampliar a avaliação para além da ausência de doença. Indicadores como tempo de repouso, estabilidade da rotina, frequência de locomoção, comportamento alimentar e resposta ao ambiente podem auxiliar na identificação de desconforto, dor, estresse ou dificuldade de adaptação. Assim, a inteligência artificial pode contribuir para avaliações mais contínuas e individualizadas, desde que seus resultados sejam interpretados em conjunto com o

conhecimento técnico do médico-veterinário, do zootecnista e do produtor (Silva et al., 2021; Ding et al., 2025).

A produtividade também está relacionada ao comportamento, uma vez que alterações na ingestão, ruminação, repouso e locomoção podem influenciar diretamente a produção de leite, a eficiência alimentar e o desempenho reprodutivo. Desse modo, o uso de inteligência artificial no monitoramento comportamental não deve ser compreendido apenas como uma ferramenta tecnológica, mas como uma estratégia de integração entre desempenho produtivo, saúde e bem-estar animal. Essa integração é essencial para sistemas leiteiros mais eficientes, sustentáveis e orientados à tomada de decisão baseada em evidências (Wolfert et al., 2017; Lokhorst et al., 2019).

Portanto, a fundamentação teórica deste estudo sustenta-se na compreensão de que o comportamento de vacas leiteiras é uma expressão sensível do estado fisiológico e adaptativo dos animais. A inteligência artificial, associada a sensores e sistemas digitais, permite transformar essa informação comportamental em indicadores úteis para o monitoramento contínuo dos rebanhos. A partir dessa base conceitual, torna-se possível discutir, nos resultados e discussões, as aplicações práticas, os avanços tecnológicos e as limitações atuais dessas ferramentas na saúde, bem-estar e produtividade de vacas leiteiras.

3. METODOLOGIA

Foi conduzida uma revisão tecnológica do tipo state-of-the-art, com abordagem narrativa crítica e integrativa. Esse tipo de revisão foi escolhido por permitir mapear avanços recentes, identificar lacunas

tecnológicas e discutir tendências emergentes em um campo dinâmico, no qual sensores, inteligência artificial e comportamento animal estão em rápida evolução.

As buscas bibliográficas foram realizadas nas bases Scopus, Web of Science, SciELO e Google Scholar, considerando publicações entre janeiro de 2016 e julho de 2026. Foram utilizados descritores em inglês e português, isoladamente e em combinação, incluindo: “artificial intelligence”, “machine learning”, “deep learning”, “dairy cow behaviour”, “dairy cow behavior”, “precision dairy farming”, “precision livestock farming”, “computer vision”, “accelerometer”, “wearable sensors”, “rumination”, “lying behaviour”, “feeding behaviour”, “lameness detection”, “mastitis detection”, “heat stress”, “animal welfare”, “vacas leiteiras”, “comportamento animal”, “inteligência artificial” e “pecuária de precisão”.

Foram incluídos artigos originais, revisões, revisões sistemáticas e estudos metodológicos relacionados ao uso de inteligência artificial, sensores ou visão computacional no monitoramento comportamental de vacas leiteiras. Foram priorizadas publicações indexadas, com delineamento claro, descrição dos algoritmos empregados, aplicação direta em bovinos leiteiros e relação explícita com saúde, bem-estar ou produtividade. Estudos envolvendo outras espécies foram utilizados apenas quando apresentavam contribuição conceitual relevante para métodos de inteligência artificial ou análise comportamental automatizada.

Foram excluídos trabalhos sem acesso a informações metodológicas mínimas, estudos puramente computacionais sem aplicação animal, publicações sem relação direta com comportamento ou monitoramento de vacas leiteiras e textos opinativos não revisados

por pares. A síntese foi organizada em cinco eixos: tecnologias de aquisição de dados comportamentais; algoritmos de inteligência artificial; aplicações em saúde; implicações para bem-estar; e impactos sobre produtividade e tomada de decisão.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Comportamento Como Fenótipo Digital em Vacas Leiteiras

O comportamento animal pode ser interpretado como um fenótipo dinâmico, resultante da interação entre estado fisiológico, ambiente, manejo e condição sanitária. Em vacas leiteiras, comportamentos como ruminação, alimentação, repouso, locomoção, interação social, busca por água, atividade relacionada ao estro e resposta ao calor fornecem informações relevantes sobre adaptação, conforto e saúde (Balasso et al., 2021).

A inteligência artificial amplia a capacidade de transformar esses comportamentos em “fenótipos digitais”, isto é, variáveis continuamente mensuráveis por sensores e algoritmos. Essa abordagem permite substituir avaliações pontuais por monitoramento contínuo, individualizado e automatizado, favorecendo a identificação precoce de desvios comportamentais. Estudos recentes demonstram que modelos computacionais podem classificar comportamentos de vacas leiteiras com base em acelerometria, imagens, vídeos, localização espacial e dados de ordenha automatizada (Liu et al., 2023; Yu et al., 2024).

Entretanto, a interpretação comportamental exige cautela. O mesmo padrão, como redução no tempo de alimentação ou diminuição da ruminação, pode estar associado a diferentes causas, incluindo doença, competição social, estresse térmico, alteração de

dieta ou mudança no manejo. Portanto, sistemas inteligentes mais robustos devem integrar múltiplas fontes de dados, combinando comportamento, produção, ambiente e histórico individual.

4.2. Tecnologias de Aquisição de Dados Comportamentais

Os sensores vestíveis representam uma das principais ferramentas para coleta contínua de dados comportamentais em bovinos leiteiros. Acelerômetros posicionados em coleiras, brincos, pernas ou flancos permitem identificar atividades como deitar, levantar, caminhar, alimentar-se, ruminar e permanecer em ócio. Estudos recentes demonstram que a localização anatômica do sensor influencia o desempenho dos modelos, sendo necessário validar cada dispositivo para o comportamento-alvo e para o sistema produtivo em que será utilizado (Pereira et al., 2020; Hendriks et al., 2020; Balasso et al., 2021; Pichlbauer et al., 2024).

Além dos acelerômetros, sensores de localização em tempo real, sistemas de banda ultralarga, sensores de proximidade e tecnologias integradas a coleiras inteligentes ampliam a capacidade de avaliar deslocamento, uso do espaço, interações sociais e comportamento alimentar. A combinação entre localização espacial e acelerometria tende a melhorar a acurácia da classificação comportamental, principalmente em ambientes complexos, como free-stall, compost barn e pastejo (Riaboff et al., 2020; Benaissa et al., 2023; Lee; Seo, 2021; Lamanna et al., 2025).

A visão computacional tem se destacado por permitir monitoramento não invasivo, sem necessidade de contato físico com o animal. Câmeras convencionais, câmeras de profundidade, imagens térmicas e vídeos podem ser usados para avaliar postura,

locomoção, escore corporal, ruminação, frequência respiratória e interações sociais. Modelos baseados em redes neurais convolucionais e arquiteturas de aprendizado profundo têm sido aplicados com sucesso na identificação automatizada de comportamentos diários de vacas leiteiras (McDonagh et al., 2021; Antognoli et al., 2025; Yu et al., 2024).

4.3. Algoritmos de Inteligência Artificial Aplicados Ao Comportamento

As aplicações de inteligência artificial no comportamento de vacas leiteiras incluem modelos supervisionados, não supervisionados e de aprendizado profundo. Entre os algoritmos tradicionais, destacam-se árvores de decisão, florestas aleatórias, máquinas de vetores de suporte, k-vizinhos mais próximos e regressão logística. Esses métodos são frequentemente utilizados em bancos de dados tabulares oriundos de acelerômetros, sensores de localização e variáveis ambientais (Balasso et al., 2023).

Modelos de aprendizado profundo, especialmente redes neurais convolucionais, redes recorrentes e arquiteturas baseadas em séries temporais, têm ganhado espaço por sua capacidade de identificar padrões complexos em imagens, vídeos e sinais contínuos. No monitoramento comportamental, esses modelos podem detectar movimentos sutis, classificar sequências temporais e reconhecer padrões individuais que dificilmente seriam observados por avaliação humana direta (García et al., 2020; Bloch et al., 2023).

A aplicação de aprendizado profundo em vídeos e imagens tem sido particularmente relevante para reconhecimento de comportamento alimentar, repouso, locomoção, frequência respiratória e sinais de

claudicação. Entretanto, o desempenho desses modelos depende de bancos de dados bem anotados, diversidade de animais, qualidade das imagens e validação externa em condições comerciais reais (Wurtz et al., 2019; Yu et al., 2024; Antognoli et al., 2025).

4.4. Aplicações para Saúde Animal

A saúde animal é uma das áreas mais beneficiadas pela integração entre comportamento e inteligência artificial. Alterações comportamentais podem anteceder manifestações clínicas de doenças, tornando o monitoramento automatizado uma ferramenta estratégica para detecção precoce.

A claudicação é uma das condições mais estudadas nesse contexto. Ela causa dor, reduz tempo de alimentação, altera locomoção, aumenta tempo de repouso e compromete bem-estar e produtividade. Sistemas baseados em acelerômetros, visão computacional e análise de marcha têm sido aplicados para detectar alterações locomotoras e classificar graus de claudicação (O'Leary et al., 2020; Kang et al., 2021; Kang et al., 2020; Russello et al., 2024; Siachos et al., 2024).

A mastite também pode ser abordada por sistemas inteligentes, principalmente quando dados comportamentais são combinados com produção de leite, condutividade elétrica, temperatura, imagens térmicas e parâmetros de ordenha. Estudos recentes demonstram o uso de aprendizado profundo e imagens térmicas para identificar alterações inflamatórias na glândula mamária, sugerindo que a inteligência artificial pode complementar métodos

tradicionais de diagnóstico (Zhang et al., 2020; Wang et al., 2022; Zhang et al., 2023; Cho et al., 2024).

Distúrbios metabólicos, embora nem sempre detectados diretamente por sensores comportamentais, podem gerar alterações em ruminação, alimentação, repouso e atividade. Assim, a integração entre dados comportamentais, produção leiteira, composição do leite e histórico nutricional pode ampliar a capacidade preditiva dos modelos. Nesse sentido, a inteligência artificial não substitui a avaliação clínica, mas atua como sistema de triagem e alerta precoce.

4.5. Inteligência Artificial, Reprodução e Comportamento de Estro

O comportamento reprodutivo é uma das áreas em que os sensores já apresentam aplicação consolidada. Aumento de atividade, inquietação, alterações na locomoção e mudanças no padrão de repouso são frequentemente utilizados para detecção de estro. Modelos de aprendizado de máquina baseados em acelerometria e localização espacial têm demonstrado potencial para identificar o início do estro e melhorar o momento da inseminação artificial (Wang et al., 2020; Wang et al., 2022).

A principal contribuição da inteligência artificial nessa área é a individualização dos alertas. Vacas diferem quanto à intensidade de manifestação do estro, ordem de parto, produção leiteira, ambiente e condição corporal. Algoritmos treinados com dados individuais e históricos podem melhorar a sensibilidade e especificidade da detecção, reduzindo falsos positivos e falsos negativos.

Contudo, ainda há desafios relacionados à validação dos modelos em diferentes raças, sistemas de criação, níveis produtivos e condições ambientais. Modelos desenvolvidos em rebanhos confinados podem não apresentar o mesmo desempenho em sistemas a pasto, compost barn ou free-stall com alta densidade animal.

4.6. Estresse Térmico e Respostas Comportamentais

O estresse térmico compromete saúde, bem-estar, reprodução e produtividade de vacas leiteiras. Antes mesmo da queda acentuada na produção de leite, os animais podem apresentar alterações comportamentais, como redução da ingestão, aumento da frequência respiratória, busca por sombra, maior tempo em pé e mudanças nos padrões de repouso. Essas respostas comportamentais são importantes indicadores de desconforto térmico (Polsky; von Keyserlingk, 2017).

A inteligência artificial pode integrar dados ambientais, sensores comportamentais e variáveis produtivas para prever risco de estresse térmico e identificar animais mais sensíveis. Estudos recentes demonstram que modelos de aprendizado de máquina podem aprimorar a predição de estresse térmico e que sensores comportamentais permitem identificar padrões adaptativos em vacas leiteiras sob condições de calor (Becker et al., 2021; Hut et al., 2022; Ranzato et al., 2023; Oliveira et al., 2025).

Essa abordagem é especialmente relevante em regiões tropicais e subtropicais, onde o estresse térmico é recorrente. Sistemas inteligentes podem apoiar decisões sobre ventilação, aspersão, sombreamento, horários de alimentação e manejo de lotes,

contribuindo para reduzir perdas produtivas e melhorar o conforto animal.

4.7. Bem-Estar Animal e Monitoramento Contínuo

O bem-estar animal é multidimensional e envolve saúde física, estado emocional, comportamento natural e capacidade de adaptação ao ambiente. A inteligência artificial pode contribuir para avaliações mais objetivas, contínuas e individualizadas, reduzindo a dependência exclusiva de inspeções pontuais (Stygar et al., 2021).

Indicadores comportamentais como tempo de repouso, frequência de deitar-se e levantar, ruminação, alimentação, locomoção e interação social podem ser utilizados para inferir conforto, dor, estresse e adaptação. Entretanto, sistemas automatizados devem ser interpretados com cautela, pois bem-estar não pode ser reduzido a um único indicador. A combinação de múltiplas variáveis tende a fornecer avaliação mais realista da condição animal (Ding et al., 2025).

Outro ponto relevante é a possibilidade de identificar padrões positivos de bem-estar. A maior parte das tecnologias ainda é direcionada à detecção de doenças, perdas produtivas ou eventos negativos. No entanto, o futuro do monitoramento inteligente deve incluir indicadores de conforto, estabilidade comportamental, expressão de comportamentos naturais e adaptação social.

4.8. Produtividade e Tomada de Decisão

A produtividade de vacas leiteiras está diretamente relacionada ao comportamento. Reduções no tempo de alimentação, alterações na ruminação, menor tempo de repouso e aumento de deslocamentos

improdutivos podem comprometer produção, eficiência alimentar e reprodução. Nesse contexto, a inteligência artificial permite transformar dados comportamentais em indicadores de desempenho e risco produtivo (Halachmi et al. 2019).

Sistemas inteligentes podem apoiar decisões sobre agrupamento de animais, manejo alimentar, identificação de vacas em risco, ajuste de ambiência, monitoramento pós-parto e intervenção sanitária. Além disso, a integração com sistemas automatizados de ordenha possibilita associar comportamento, produção de leite, frequência de ordenha e alterações fisiológicas (Niloofar et al. 2021).

A principal vantagem desses sistemas não está apenas na automação da coleta de dados, mas na capacidade de interpretar padrões complexos e gerar recomendações úteis ao produtor, ao zootecnista e ao médico-veterinário. Para isso, é necessário que os modelos sejam interpretáveis, validados e integrados à rotina da fazenda (Kaur et al. 2023).

Tabela 1. Principais aplicações da inteligência artificial no comportamento de vacas leiteiras

Área de aplicação	Dados utilizados	Técnicas frequentes	Possíveis benefícios
Ruminação e alimentação	Acelerômetros, coleiras, sensores de cocho, vídeos	Florestas aleatórias, redes neurais, aprendizado profundo	Detecção de distúrbios digestivos, ajuste alimentar, monitoramento pós-parto
Repouso e atividade	Sensores de perna, coleiras, acelerômetros	Árvores de decisão, máquinas de	Avaliação de conforto, claudicação,

		vetores de suporte, redes temporais	estresse e adaptação ao ambiente
Locomoção e claudicação	Vídeos, sensores de movimento, análise de marcha	Visão computacional, redes neurais convolucionais	Detecção precoce de dor, melhoria do bem-estar e redução de perdas produtivas
Estro	Acelerometria, localização espacial, atividade	Modelos supervisionados, séries temporais	Melhor momento de inseminação e redução de falhas reprodutivas
Estresse térmico	Ambiente, comportamento, produção, frequência respiratória	Modelos preditivos, aprendizado de máquina	Alertas de risco, manejo de ventilação e resfriamento
Mastite	Imagens térmicas, ordenha automatizada, comportamento	Aprendizado profundo, classificadores supervisionados	Triagem precoce, redução de casos clínicos e apoio ao diagnóstico
Bem-estar	Dados multimodais comportamentais e ambientais	Modelos integrativos, análise de padrões	Monitoramento contínuo, identificação de desconforto e suporte à tomada de decisão

Fonte: Elaborado pelos autores, 2026.

4.9. Limitações Atuais e Lacunas de Pesquisa

Apesar dos avanços, a aplicação da inteligência artificial no comportamento de vacas leiteiras ainda enfrenta limitações importantes. A primeira é a dependência de bancos de dados

robustos, diversos e bem anotados. Modelos treinados em condições específicas podem apresentar baixa generalização quando aplicados a outros sistemas, raças, climas ou manejos.

A segunda limitação envolve a interpretabilidade. Muitos modelos de aprendizado profundo apresentam alto desempenho, mas funcionam como “caixas-pretas”, dificultando a compreensão dos critérios utilizados para gerar alertas. Em saúde e bem-estar animal, a explicabilidade é fundamental para que veterinários e produtores confiem nas recomendações.

A terceira lacuna refere-se à integração entre plataformas. Muitos sensores operam em sistemas fechados, com baixa interoperabilidade. Isso dificulta a construção de modelos multimodais que combinem comportamento, produção, ambiente, sanidade e reprodução. Sistemas futuros devem priorizar padronização de dados, integração entre dispositivos e validação multicêntrica.

Também existem questões éticas e práticas. O uso de inteligência artificial não deve substituir a inspeção humana, o exame clínico ou o julgamento profissional. Pelo contrário, deve funcionar como ferramenta de apoio à decisão. A adoção dessas tecnologias deve considerar custo, treinamento dos usuários, infraestrutura digital, privacidade de dados e impacto real sobre os animais (Niloofar et al., 2021; Heinlein, 2026).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A inteligência artificial aplicada ao comportamento de vacas leiteiras representa uma das áreas mais promissoras da pecuária leiteira de precisão. A integração entre sensores vestíveis, visão computacional,

sistemas automatizados de ordenha e algoritmos preditivos permite monitorar continuamente ruminação, alimentação, repouso, locomoção, estro e respostas ao ambiente.

Essa abordagem tem potencial para melhorar a detecção precoce de doenças, reduzir perdas produtivas, apoiar decisões reprodutivas, identificar estresse térmico e ampliar a avaliação objetiva do bem-estar animal. O comportamento deixa de ser apenas uma observação pontual e passa a ser um fenótipo digital contínuo, capaz de orientar intervenções mais rápidas e individualizadas.

Entretanto, a consolidação dessa tecnologia depende de validação em condições comerciais, padronização dos bancos de dados, interoperabilidade entre sensores, explicabilidade dos modelos e integração com a avaliação clínica. A inteligência artificial deve ser compreendida como ferramenta complementar à medicina veterinária e à zootecnia, fortalecendo a tomada de decisão baseada em evidências.

Do ponto de vista científico e tecnológico, o maior avanço está na possibilidade de construir sistemas preditivos capazes de integrar saúde, bem-estar e produtividade em tempo real. Assim, a inteligência artificial aplicada ao comportamento de vacas leiteiras constitui uma fronteira estratégica para sistemas leiteiros mais eficientes, sustentáveis e orientados ao bem-estar animal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Antognoli, F., Biondi, V., Mottola, A., & Napolitano, F. (2025). Computer vision in dairy farm management: A literature review. *Animals*, 15(17), 2508. <https://doi.org/10.3390/ani15172508>

Balasso, P., Marchesini, G., Serva, L., Ughelini, N., Andrighetto, I., & Segato, S. (2023). A deep learning approach to detect dairy cows' feeding, standing, lying and ruminating behaviour using tri-axial accelerometer data. *Animals*, 13(11), 1886. <https://doi.org/10.3390/ani13111886>

Balasso, P., Marchesini, G., Ughelini, N., Serva, L., Andrighetto, I., & Segato, S. (2021). Machine learning to detect posture and behavior in dairy cows: Information from an accelerometer on the animal's left flank. *Animals*, 11(10), 2972. <https://doi.org/10.3390/ani11102972>

Becker, C. A., Collier, R. J., & Stone, A. E. (2021). Invited review: Physiological and behavioral effects of heat stress in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 104(6), 6751–6770. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18653>

Benaissa, S., Tuytens, F. A. M., Plets, D., Trogh, J., Martens, L., Vandaele, L., Joseph, W., & Sonck, B. (2023). Improved cattle behaviour monitoring by combining ultra-wideband location and accelerometer data. *Animal*, 17(3), 100730. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2023.100730>

Berckmans, D. (2017). General introduction to precision livestock farming. *Animal Frontiers*, 7(1), 6–11. <https://doi.org/10.2527/af.2017.0102>

Biffani, S., Tiezzi, F., Biscarini, F., & Stella, A. (2021). Comparison of machine learning methods to predict udder health status based on somatic cell counts in dairy cattle. *Scientific Reports*, 11, 13685. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-93056-4>

Bloch, V., Levit, H., Leal, L. N., & Halachmi, I. (2023). Assessing the potential of convolutional neural networks and transfer learning to classify feeding behavior using dairy cow accelerometer data. *Sensors*, 23(5), 2611. <https://doi.org/10.3390/s23052611>

Borchers, M. R., Chang, Y. M., Proudfoot, K. L., Wadsworth, B. A., Stone, A. E., & Bewley, J. M. (2017). Machine-learning-based calving prediction from activity, lying, and ruminating behaviors in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 100(7), 5664–5674. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11526>

Caja, G., Castro-Costa, A., & Knight, C. H. (2016). Engineering to support wellbeing of dairy animals. *Journal of Dairy Research*, 83(2), 136–147. <https://doi.org/10.1017/S0022029916000261>

Cho, Y. H., Lee, S. H., Kim, J. H., & Park, J. H. (2024). Mastitis classification in dairy cows using weakly supervised representation learning with thermal images. *Agriculture*, 14(11), 2084. <https://doi.org/10.3390/agriculture14112084>

Ding, H., Wang, X., Li, Y., & Zhang, Y. (2025). Wearable sensors-based intelligent sensing and application of animal behaviors: A comprehensive review. *Sensors*, 25(14), 4515. <https://doi.org/10.3390/s25144515>

García, R., Aguilar, J., Toro, M., Pinto, A., & Rodríguez, P. (2020). A systematic literature review on the use of machine learning in precision livestock farming. *Computers and Electronics in Agriculture*, 179, 105826. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105826>

Halachmi, I., Guarino, M., Bewley, J., & Pastell, M. (2019). Smart animal agriculture: Application of real-time sensors to improve animal well-

being and production. *Annual Review of Animal Biosciences*, 7, 403–425. <https://doi.org/10.1146/annurev-animal-020518-114851>

Heinlein, C. (2026). Artificial intelligence ethics in veterinary decision-making: Balancing innovation with responsibility. *Frontiers in Veterinary Science*, 13, 1780868. <https://doi.org/10.3389/fvets.2026.1780868>

Hendriks, S. J., Phyn, C. V. C., Turner, S. A., Mueller, K. R., Kuhn-Sherlock, B., Donaghy, D. J., Huzzey, J. M., & Roche, J. R. (2020). Lying behavior and activity in dairy cows: Sensor-based monitoring and associations with health and welfare. *Journal of Dairy Science*, 103(12), 12140–12157. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17887>

Hut, P. R., Scheurwater, J., Nielen, M., van den Broek, J., & Hostens, M. (2022). Heat stress in a temperate climate leads to adapted sensor-based behavioral patterns of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 105(8), 6909–6922. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-21756>

Jia, Y., Li, X., Liu, G., Wang, Z., & Li, C. (2023). Automatic lameness detection in dairy cows based on machine vision. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 16(3), 217–224. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20231603.8097>

Jiang, B., Song, H., & Fu, Q. (2023). Global trends and prospects of precision livestock farming: A scientometric review. *Animals*, 13(13), 2096. <https://doi.org/10.3390/ani13132096>

Kang, X., Zhang, X., & Liu, G. (2020). Accurate detection of lameness in dairy cattle with computer vision: A new and individualized detection strategy based on the analysis of the supporting phase.

Journal of Dairy Science, 103(11), 10628–10638.
<https://doi.org/10.3168/jds.2020-18288>

Kang, X., Zhang, X., & Liu, G. (2021). A review: Development of computer vision-based lameness detection for dairy cows and discussion of the practical applications. *Sensors*, 21(3), 753.
<https://doi.org/10.3390/s21030753>

Kaur, U., Malacco, V. M. R., Bai, H., Price, T. P., Datta, A., Xin, L., & Bewley, J. M. (2023). Invited review: Integration and evaluation of technologies and systems for precision dairy farming. *Journal of Animal Science*, 101, skad206. <https://doi.org/10.1093/jas/skad206>

Lamanna, M., Formigoni, A., Cavallini, D., & Palmonari, A. (2025). Wearable collar technologies for dairy cows. *Animals*, 15(3), 458.
<https://doi.org/10.3390/ani15030458>

Lee, M., & Seo, S. (2021). Wearable wireless biosensor technology for monitoring cattle: A review. *Animals*, 11(9), 2779.
<https://doi.org/10.3390/ani11102779>

Li, G., Shi, Z., Li, B., Xu, J., & Wang, Z. (2022). Classification and analysis of multiple cattle unitary behaviors and movements based on machine learning methods. *Animals*, 12(9), 1060.
<https://doi.org/10.3390/ani12091060>

Liakos, K. G., Busato, P., Moshou, D., Pearson, S., & Bochtis, D. (2018). Machine learning in agriculture: A review. *Sensors*, 18(8), 2674.
<https://doi.org/10.3390/s18082674>

Liu, D., He, D., Norton, T., & Berckmans, D. (2023). Classification of cow behavior patterns using inertial measurement units and a fully

convolutional network. *Journal of Dairy Science*, 106(2), 1351–1359.
<https://doi.org/10.3168/jds.2022-22350>

Lokhorst, C., de Mol, R. M., & Kamphuis, C. (2019). Invited review: Big Data in precision dairy farming. *Animal*, 13(7), 1519–1528.
<https://doi.org/10.1017/S1751731118003439>

McDonagh, J., Tzimiropoulos, G., Slinger, K. R., Huggett, Z. J., & Down, P. M. (2021). Detecting dairy cow behavior using vision technology. *Agriculture*, 11(7), 675. <https://doi.org/10.3390/agriculture11070675>

Morrone, S., Dimauro, C., Gambella, F., Cappai, M. G., & Bacciu, N. (2022). Industry 4.0 and precision livestock farming: An up-to-date overview across animal productions. *Sensors*, 22(12), 4319.
<https://doi.org/10.3390/s22124319>

Nasirahmadi, A., Edwards, S. A., & Sturm, B. (2017). Implementation of machine vision for detecting behaviour of cattle and pigs. *Livestock Science*, 202, 25–38. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2017.05.014>

Neethirajan, S. (2020). The role of sensors, big data and machine learning in modern animal farming. *Sensing and Bio-Sensing Research*, 29, 100367. <https://doi.org/10.1016/j.sbsr.2020.100367>

Niloofar, P., Francis, D. P., Lazarova-Molnar, S., Vulpe, A., Vochin, M. C., Suci, G., Balanescu, M., & Anestis, V. (2021). Data-driven decision support in livestock farming for improved animal health, welfare and greenhouse gas emissions: Overview and challenges. *Computers and Electronics in Agriculture*, 190, 106406.
<https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106406>

O'Leary, N. W., Byrne, D. T., O'Connor, A. H., & Shalloo, L. (2020). Invited review: Cattle lameness detection with accelerometers. *Journal of Dairy Science*, *103*(5), 3895–3911. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17123>

Oliveira, C. C., Fernandes, A. M., & Garcia, A. R. (2025). Heat stress in dairy cows: Impacts, identification, and mitigation. *Animals*, *15*(2), 249. <https://doi.org/10.3390/ani15020249>

Pereira, G. M., Heins, B. J., Endres, M. I., & Salfer, J. A. (2020). Technical note: Validation of an ear-tag accelerometer sensor to determine rumination, eating, and activity behaviors of grazing dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, *103*(4), 3529–3544. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17269>

Pichlbauer, B., Herzog, K., Iwersen, M., & Drillich, M. (2024). Evaluation of different sensor systems for classifying rumination and lying behavior in dairy cows. *Sensors*, *24*(23), 7739. <https://doi.org/10.3390/s24237739>

Polsky, L., & von Keyserlingk, M. A. G. (2017). Invited review: Effects of heat stress on dairy cattle welfare. *Journal of Dairy Science*, *100*(11), 8645–8657. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12651>

Ranzato, C., Giancesella, M., Fiore, E., Morgante, M., & Contiero, B. (2023). Sensor-based behavioral patterns can identify heat-sensitive lactating dairy cows. *International Journal of Biometeorology*, *67*, 2049–2060. <https://doi.org/10.1007/s00484-023-02561-w>

Riaboff, L., Poggi, S., Madouasse, A., Cuvreur, S., Aubin, S., Bédère, N., Goumand, E., Chauvin, A., & Plantier, G. (2020). Use of predicted behavior from accelerometer and global positioning system data to

improve the health and welfare of dairy cows. *Sensors*, 20(17), 4741. <https://doi.org/10.3390/s20174741>

Russello, H., Tullo, E., Finzi, A., Guarino, M., & Fontana, I. (2024). Video-based automatic lameness detection of dairy cows using movement and posture descriptors. *Computers and Electronics in Agriculture*, 223, 109040. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.109040>

Schmeling, M., Pinho, G. M., & Endres, M. I. (2021). Technical note: Sensor-based lying behavior in dairy cows on pasture and in the barn. *Animals*, 11(9), 2660. <https://doi.org/10.3390/ani11092660>

Shu, H., Zhang, X., Liu, G., & Kang, X. (2024). Non-contact respiration rate measurement of multiple cows in a freestall barn using computer vision. *Computers and Electronics in Agriculture*, 218, 108678. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.108678>

Siachos, N., Valergakis, G. E., & Arsenos, G. (2024). Automated dairy cattle lameness detection utilizing the power of artificial intelligence. *The Veterinary Journal*, 309, 106091. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2024.106091>

Silva, S. R., Araujo, J. P., Guedes, C. M., Silva, F., Almeida, M., & Cerqueira, J. L. (2021). Precision technologies to address dairy cattle welfare: Focus on lameness, mastitis and body condition. *Animals*, 11(8), 2253. <https://doi.org/10.3390/ani11082253>

Stygar, A. H., Gómez, Y., Berteselli, G. V., Dalla Costa, E., Canali, E., Niemi, J. K., Llonch, P., & Pastell, M. (2021). A systematic review on commercially available and validated sensor technologies for welfare assessment of dairy cattle. *Frontiers in Veterinary Science*, 8, 634338. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.634338>

Tullo, E., Finzi, A., & Guarino, M. (2019). Review: Environmental impact of livestock farming and precision livestock farming as a mitigation strategy. *Science of the Total Environment*, 650, 2751–2760. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.018>

Valletta, J. J., Torney, C., Kings, M., Thornton, A., & Madden, J. (2017). Applications of machine learning in animal behaviour studies. *Animal Behaviour*, 124, 203–220. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2016.12.005>

Wagner, N., Mialon, M. M., Sloth, K. H., & Lardy, R. (2020). Detection of changes in the behavior of dairy cows using accelerometers and machine learning. *Computers and Electronics in Agriculture*, 175, 105233. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105233>

Wang, J., Bell, M., Liu, X., & Liu, G. (2020). Machine-learning techniques can enhance dairy cow estrus detection using location and acceleration data. *Animals*, 10(7), 1160. <https://doi.org/10.3390/ani10071160>

Wang, Y., Kang, X., He, Z., Feng, Y., & Liu, G. (2022). Accurate detection of dairy cow mastitis with deep learning technology: A new and comprehensive detection method based on infrared thermal images. *Animal*, 16(10), 100646. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2022.100646>

Wang, Z., Kang, X., Zhang, X., & Liu, G. (2024). Learning end-to-end respiratory rate prediction of dairy cows from RGB videos. *Journal of Dairy Science*, 107(11), 9862–9874. <https://doi.org/10.3168/jds.2023-24601>

Wang, Z., Liu, G., & Kang, X. (2022). Using machine-learning technique for estrus onset detection in dairy cows from acceleration and location data acquired by a neck-tag. *Biosystems Engineering*, 214, 193–206. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2021.12.025>

Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., & Bogaardt, M. J. (2017). Big Data in smart farming: A review. *Agricultural Systems*, 153, 69–80. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.01.023>

Wu, D., Wu, Q., Yin, X., Jiang, B., Wang, H., He, D., & Song, H. (2023). Monitoring respiratory behavior of multiple cows based on computer vision and deep learning. *Journal of Dairy Science*, 106(1), 562–574. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22501>

Wurtz, K., Camerlink, I., D'Eath, R. B., Fernández, A. P., Norton, T., Steibel, J., & Siegford, J. M. (2019). Recording behaviour of indoor-housed farm animals automatically using machine vision technology: A systematic review. *PLOS ONE*, 14(12), e0226669. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0226669>

Yu, Z., Li, X., Wang, J., Li, B., & Zhang, Y. (2024). Research on automatic recognition of dairy cow daily behaviors based on deep learning. *Animals*, 14(3), 458. <https://doi.org/10.3390/ani14030458>

Zhang, Q., Li, X., Liu, G., Kang, X., & Wang, Z. (2023). Dairy cow mastitis detection by thermal infrared images based on deep learning. *Animals*, 13(13), 2211. <https://doi.org/10.3390/ani13132211>

Zhang, X., Kang, X., Feng, N., & Liu, G. (2020). Automatic recognition of dairy cow mastitis from thermal images by a deep learning detector. *Computers and Electronics in Agriculture*, 178, 105754. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105754>

¹ Discente do Programa de Pós-graduação em Zootecnia da Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD. Dourados, Mato Grosso do Sul, Brasil. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6014-0492>

² Discente da Graduação em Medicina Veterinária no Centro Universitário FAMETRO, Manaus, Amazonas, Brasil. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#). ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-0674-2818>

³ Pós-graduanda pela Faculdade de Venda Nova do Imigrante – FAVENI, E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#). ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-8930-0176>

⁴ Discente da Graduação em Medicina Veterinária no Centro Universitário UNA – Catalão. Catalão, Goiás, Brasil. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)

⁵ Discente da Graduação em Medicina Veterinária no Centro Universitário UNA – Catalão. Catalão, Goiás, Brasil. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)

⁶ Discente da Graduação em Medicina Veterinária. Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais – CESCAGE. Ponta Grossa Paraná Brasil. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)

⁷ Discente da Graduação em Medicina Veterinária no Centro Universitário Brasileiro – UNIBRA, Recife, Pernambuco, Brasil. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)

⁸ Discente da Graduação em Medicina Veterinária - Universidade do Sul de Santa Catarina. Florianópolis, Santa Catarina, Brasil. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)

⁹ Mestrando Universidade Federal de Catalão – UFCTA, Catalão, Goiás, Brasil. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)

¹⁰ Doutorado em Engenharia Agrícola pela Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI. Santo Ângelo – RS, Brasil. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3874-3569>