


DESAFIOS E SOLUÇÕES NA INSEMINAÇÃO ARTIFICIAL DE BOVINOS
CHALLENGES AND SOLUTIONS IN ARTIFICIAL INSEMINATION OF CATTLE
DESAFÍOS Y SOLUCIONES EN LA INSEMINACIÓN ARTIFICIAL DE GANADO BOVINO

 <https://doi.org/10.56238/arev8n4-015>

Data de submissão: 08/03/2026

Data de publicação: 08/04/2026

Ana Cristina Santin Scorsatto

Graduanda em Medicina Veterinária

Instituição: Universidade de Passo Fundo (UPF)

Mariane Soares Alves

Graduanda em Medicina Veterinária

Instituição: Faculdade Impacto (FIP)

Carlos Roberto Cruz Ubirajara Filho

Docente em Medicina Veterinária

Instituição: Universidade Federal do Agreste de Pernambuco (UFAPE)

RESUMO

A inseminação artificial (IA) em bovinos é uma biotecnologia essencial para o melhoramento genético e a eficiência produtiva, embora sua eficácia enfrente desafios multifatoriais. O presente estudo teve como objetivo analisar criticamente as evidências científicas recentes sobre os gargalos operacionais e as inovações tecnológicas aplicadas à reprodução bovina. Caracteriza-se como uma revisão bibliográfica de natureza narrativa, com busca nas bases PubMed, SciELO e Google Scholar, selecionando artigos publicados entre 2021 e 2025. Os resultados indicam que, além das limitações infraestruturais e da necessidade de qualificação técnica da equipe, a variabilidade na resposta aos protocolos hormonais e o estado metabólico das fêmeas são determinantes críticos da fertilidade. A transição para a inseminação artificial em tempo fixo (IATF) mitigou falhas na detecção de estro, enquanto o surgimento de tecnologias ômicas, biomarcadores de gestação e modelagem preditiva aponta para uma medicina de precisão na reprodução. Conclui-se que a maximização da eficiência reprodutiva depende de uma abordagem integrada, unindo o rigor técnico operacional ao monitoramento fisiológico individualizado, consolidando a IA como um pilar de sustentabilidade na bovinocultura moderna.

Palavras-chave: Inseminação Artificial. Bovinos. IATF. Melhoramento Genético. Medicina de Precisão.

ABSTRACT

Artificial insemination (AI) in cattle is an essential biotechnology for genetic improvement and productive efficiency, although its effectiveness faces multifactorial challenges. This study aimed to critically analyze recent scientific evidence on operational bottlenecks and technological innovations applied to bovine reproduction. It is characterized as a narrative literature review, with searches in the PubMed, SciELO, and Google Scholar databases, selecting articles published between 2021 and 2025. The results indicate that, in addition to infrastructural limitations and the need for technical

qualification of the team, variability in response to hormonal protocols and the metabolic state of females are critical determinants of fertility. The transition to fixed-time artificial insemination (FTAI) has mitigated failures in estrus detection, while the emergence of omics technologies, pregnancy biomarkers, and predictive modeling points towards precision medicine in reproduction. It is concluded that maximizing reproductive efficiency depends on an integrated approach, combining rigorous technical and operational standards with individualized physiological monitoring, consolidating AI as a pillar of sustainability in modern cattle farming.

Keywords: Artificial Insemination. Cattle. AI. Genetic Improvement. Precision Medicine.

RESUMEN

La inseminación artificial (IA) en bovinos es una biotecnología esencial para el mejoramiento genético y la eficiencia productiva, si bien su efectividad enfrenta desafíos multifactoriales. Este estudio tuvo como objetivo analizar críticamente la evidencia científica reciente sobre los cuellos de botella operativos y las innovaciones tecnológicas aplicadas a la reproducción bovina. Se caracteriza por ser una revisión narrativa de la literatura, con búsquedas en las bases de datos PubMed, SciELO y Google Scholar, seleccionando artículos publicados entre 2021 y 2025. Los resultados indican que, además de las limitaciones infraestructurales y la necesidad de cualificación técnica del equipo, la variabilidad en la respuesta a los protocolos hormonales y el estado metabólico de las hembras son determinantes críticos de la fertilidad. La transición a la inseminación artificial a tiempo fijo (IATF) ha mitigado las fallas en la detección del celo, mientras que la aparición de tecnologías ómicas, biomarcadores de gestación y modelos predictivos apunta hacia la medicina de precisión en la reproducción. Se concluye que maximizar la eficiencia reproductiva depende de un enfoque integrado, que combine estándares técnicos y operativos rigurosos con un monitoreo fisiológico individualizado, consolidando la IA como un pilar de sostenibilidad en la ganadería moderna.

Palabras clave: Inseminación Artificial. Ganado Vacuno. Mejora Genética. Medicina de Precisión.

1 INTRODUÇÃO

A inseminação artificial (IA) é amplamente reconhecida como uma das principais biotecnologias reprodutivas aplicadas à produção animal, desempenhando papel central no melhoramento genético e no incremento da eficiência produtiva dos rebanhos bovinos (Mathewos et al., 2023; Sales et al., 2024). Essa técnica possibilita a disseminação em larga escala de material genético oriundo de reprodutores de elevado mérito zootécnico, contribuindo não apenas para o avanço genético dos plantéis, mas também para a redução da transmissão de doenças venéreas e para a otimização do manejo reprodutivo (Mathewos et al., 2023).

No contexto brasileiro, a adoção da inseminação artificial tem apresentado crescimento expressivo nas últimas décadas, consolidando o país como um dos principais protagonistas no cenário global das biotecnologias reprodutivas aplicadas à bovinocultura (Sales et al., 2024). Tal expansão está diretamente associada à intensificação dos sistemas produtivos e à crescente demanda por maior eficiência reprodutiva e econômica.

Apesar dos benefícios amplamente estabelecidos, a inseminação artificial convencional ainda apresenta limitações relevantes, especialmente no que se refere à identificação precisa do estro e à ocorrência de cios silenciosos, fatores que impactam negativamente as taxas de concepção e comprometem a eficiência dos programas reprodutivos (Mathewos et al., 2023; Sartori et al., 2023). Nesse cenário, a inseminação artificial em tempo fixo (IATF) emerge como uma estratégia inovadora, permitindo o controle do ciclo reprodutivo por meio da sincronização hormonal da ovulação, eliminando a necessidade de detecção de cio e viabilizando maior padronização das práticas reprodutivas (Sales et al., 2024; Sartori et al., 2023).

Entretanto, a eficácia dessas tecnologias não depende exclusivamente dos protocolos utilizados, estando intrinsecamente relacionada à qualificação da equipe técnica, ao manejo adequado da dinâmica folicular e à incorporação de ferramentas tecnológicas avançadas, como abordagens genômicas e metabolômicas, que ampliam a compreensão dos determinantes da fertilidade (Dalton et al., 2021; Ayantoye et al., 2025).

2 METODOLOGIA

O presente estudo caracteriza-se como uma revisão bibliográfica de natureza narrativa, com o objetivo de analisar criticamente as evidências científicas mais recentes relacionadas aos desafios operacionais e às inovações tecnológicas aplicadas à inseminação artificial em bovinos. A busca por literatura científica foi conduzida na base de dados SciELO, Google Scholar e PubMed, utilizando o

descriptor “Bovine artificial insemination”, conforme a terminologia padronizada do Medical Subject Headings (MeSH).

Foram selecionados artigos científicos publicados no período de 2021 a 2025, disponíveis integralmente no idioma inglês, contemplando estudos que abordassem desde limitações socioeconômicas e infraestruturais até avanços em protocolos hormonais de sincronização e identificação de biomarcadores de fertilidade. Foram excluídos trabalhos com baixa robustez metodológica, bem como aqueles direcionados exclusivamente a outras espécies animais.

O processo de seleção envolveu triagem inicial de títulos e resumos, seguida de leitura crítica e analítica dos textos completos, permitindo a organização sistemática dos achados e a construção de uma análise integrada dos principais resultados descritos na literatura.

3 FUNDAMENTOS FISIOLÓGICOS E TÉCNICOS DA INSEMINAÇÃO ARTIFICIAL

A eficiência da inseminação artificial em bovinos está diretamente condicionada à compreensão aprofundada dos mecanismos fisiológicos que regulam o ciclo estral, a dinâmica folicular e o processo ovulatório, bem como à execução adequada das técnicas reprodutivas. O ciclo estral das fêmeas bovinas é caracterizado por uma sequência altamente regulada de eventos endócrinos que culminam na ovulação, sendo o sincronismo entre a inseminação e esse evento um fator determinante para o sucesso da fecundação (Gonçalves et al., 2008).

Nesse contexto, a deposição do sêmen deve ocorrer em um intervalo temporal adequado em relação à ovulação, assegurando a presença de espermatozoides viáveis e capacitados no trato reprodutivo no momento da liberação do oócito (Gonçalves et al., 2008; Sartori et al., 2023). Falhas na identificação do estro, particularmente em sistemas produtivos menos tecnificados, configuram uma das principais limitações da inseminação artificial convencional, resultando em redução significativa das taxas de concepção (Sartori et al., 2023).

Adicionalmente, aspectos técnicos exercem influência determinante sobre a eficiência do processo, incluindo a qualidade seminal, as condições de armazenamento e manejo criogênico em nitrogênio líquido, bem como a precisão na deposição do sêmen no trato reprodutivo da fêmea (Gonçalves et al., 2008; Dalton et al., 2021). Dessa forma, a integração entre conhecimento fisiológico e execução técnica qualificada constitui a base para o sucesso dos programas de inseminação artificial (Gonçalves et al., 2008).

O advento da inseminação artificial em tempo fixo (IATF) representa um marco no avanço das biotecnologias reprodutivas, permitindo a sincronização controlada da ovulação por meio de

protocolos hormonais, reduzindo a dependência da detecção de estro e promovendo maior previsibilidade e eficiência nos programas reprodutivos (Sales et al., 2024; Sartori et al., 2023).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 DESAFIOS OPERACIONAIS E ESTRUTURAIS

A literatura contemporânea evidencia que os desafios associados à inseminação artificial em bovinos apresentam caráter multifatorial, sendo particularmente evidentes em países em desenvolvimento, onde limitações estruturais e técnicas ainda persistem. Estudos conduzidos no sul da Etiópia demonstram que fatores como a escassez de nitrogênio líquido para a adequada conservação do sêmen, a limitada disponibilidade de profissionais qualificados e a baixa conscientização dos produtores acerca dos benefícios econômicos da técnica comprometem significativamente a eficiência dos programas reprodutivos (Mathewos et al., 2023).

Além disso, o fator humano assume papel central nesse contexto, uma vez que a capacitação técnica dos inseminadores influencia diretamente a correta deposição do sêmen no trato reprodutivo, impactando de forma significativa as taxas de concepção. Evidências indicam que programas estruturados de treinamento, aliados ao domínio da anatomia reprodutiva e das técnicas de inseminação, promovem melhorias consistentes no desempenho reprodutivo a campo (Dalton et al., 2021).

4.2 FATORES FISIOLÓGICOS E METABÓLICOS

Outro aspecto de elevada relevância refere-se à variabilidade individual na resposta aos protocolos de inseminação artificial, a qual está intimamente associada a fatores fisiológicos e metabólicos das fêmeas. Características como escore de condição corporal, balanço energético e estágio do ciclo estral no início dos protocolos exercem influência direta sobre o crescimento folicular, a qualidade dos oócitos e a funcionalidade luteal (Sartori et al., 2023; Ayantoye et al., 2025).

Nesse contexto, animais submetidos a balanço energético negativo apresentam comprometimento da responsividade aos protocolos hormonais, resultando em redução das taxas de prenhez, mesmo sob condições técnicas adequadas. Tal condição está associada a alterações metabólicas que impactam a dinâmica folicular e a competência oocitária, evidenciando a necessidade de avaliação criteriosa do estado fisiológico das fêmeas antes da implementação de programas reprodutivos (Sartori et al., 2023; Ayantoye et al., 2025).

Dessa forma, a integração entre manejo nutricional e estratégias reprodutivas emerge como fator determinante para a maximização da eficiência da inseminação artificial, especialmente em sistemas produtivos intensivos.

4.3 PROTOCOLOS HORMONAIIS E CONTROLE DA DINÂMICA FOLICULAR

No âmbito biológico, o controle da dinâmica folicular configura-se como o principal eixo das estratégias modernas de inseminação artificial. Protocolos hormonais baseados na utilização de progesterona, hormônio liberador de gonadotrofinas (GnRH) e prostaglandinas permitem o controle preciso do desenvolvimento folicular e da ovulação, favorecendo a obtenção de oócitos com maior competência reprodutiva (Sartori et al., 2023; Sales et al., 2024).

A evolução desses protocolos, especialmente no cenário brasileiro, evidencia que a inseminação artificial em tempo fixo não apenas superou as limitações associadas à detecção do estro, mas também possibilitou a aplicação da técnica em larga escala, tanto em sistemas de produção de corte quanto de leite, com maior previsibilidade dos resultados reprodutivos (Sales et al., 2024).

Adicionalmente, o refinamento das estratégias hormonais tem permitido ajustes cada vez mais precisos, considerando as particularidades fisiológicas dos animais, o que contribui para a redução da variabilidade nas respostas e para o aumento da eficiência global dos programas reprodutivos (Sartori et al., 2023; Sales et al., 2024).

4.4 INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS E MEDICINA DE PRECISÃO

As inovações tecnológicas representam a atual fronteira do conhecimento na reprodução bovina, promovendo avanços significativos na compreensão dos mecanismos associados à fertilidade e na otimização dos resultados reprodutivos (Ayantoye et al., 2025). Nesse contexto, a incorporação de abordagens ômicas — incluindo transcriptômica, proteômica e metabolômica — tem possibilitado a identificação de perfis moleculares associados ao desempenho reprodutivo, permitindo a seleção mais assertiva de fêmeas com maior potencial de fertilidade (Ayantoye et al., 2025).

Paralelamente, a identificação de biomarcadores precoces de gestação, como o microRNA miR-26a circulante, tem se mostrado uma ferramenta promissora para o diagnóstico antecipado da prenhez, possibilitando a rápida identificação de falhas reprodutivas e a consequente redução do intervalo entre inseminações (Tzelos et al., 2023).

Esses avanços indicam uma transição progressiva de abordagens generalistas para estratégias baseadas em medicina de precisão, nas quais decisões reprodutivas são orientadas por informações moleculares e fisiológicas específicas de cada animal (Ayantoye et al., 2025; Tzelos et al., 2023).

4.5 MODELAGEM PREDITIVA E OTIMIZAÇÃO DOS PROTOCOLOS

A incorporação de análises em larga escala e ferramentas de modelagem preditiva tem promovido avanços substanciais na previsibilidade dos resultados reprodutivos, permitindo a identificação de padrões associados ao sucesso da inseminação artificial (Assis et al., 2025; Consentini et al., 2025). Nesse cenário, ajustes nos protocolos hormonais, especialmente na fase de indução da ovulação, demonstram impacto direto sobre a sincronia folicular e as taxas de concepção (Consentini et al., 2025).

Evidências recentes ampliam a compreensão sobre a eficiência dos protocolos de inseminação artificial em tempo fixo ao integrarem análises em larga escala com refinamentos nas estratégias hormonais. Em estudo conduzido com vacas leiteiras lactantes, Consentini et al. (2025) demonstraram que variações nos protocolos de indução da ovulação influenciam significativamente a sincronia ovulatória e, conseqüentemente, os índices de prenhez. De forma complementar, Assis et al. (2025), a partir da análise de aproximadamente dois milhões de inseminações em bovinos de corte, evidenciaram que fatores como categoria animal, condição corporal e momento da inseminação exercem efeito significativo sobre a fertilidade.

Em conjunto, esses achados apontam para uma transição da inseminação artificial em tempo fixo de um modelo padronizado para uma abordagem mais preditiva e individualizada, na qual a integração entre grandes bases de dados e o refinamento dos protocolos hormonais contribuem para maior eficiência e consistência dos resultados reprodutivos.

4.6 PADRONIZAÇÃO TÉCNICA E CONTROLE DE QUALIDADE

A padronização dos processos operacionais e a implementação de rigorosos controles de qualidade constituem elementos essenciais para a maximização da eficiência dos programas de inseminação artificial. A manutenção adequada da cadeia de frio durante o armazenamento e transporte do sêmen, especialmente em nitrogênio líquido, é um fator crítico para a preservação da viabilidade espermática, sendo sua falha diretamente associada à redução das taxas de concepção (Mathewos et al., 2023).

Além disso, variáveis operacionais, como a técnica de descongelamento, o tempo de exposição térmica e a precisão na deposição do sêmen no trato reprodutivo, influenciam diretamente a integridade celular e a capacidade fecundante dos espermatozoides (Dalton et al., 2021). Nesse contexto, a avaliação criteriosa da qualidade seminal — incluindo parâmetros como motilidade, vigor e integridade de membrana —, aliada à rastreabilidade do material genético e ao manejo adequado

dos botijões criogênicos, são medidas indispensáveis para garantir a consistência dos resultados reprodutivos (Sartori et al., 2023; Sales et al., 2024).

4.7 PERSPECTIVAS FUTURAS

O avanço das tecnologias moleculares e dos sistemas de monitoramento fisiológico aponta para um cenário futuro pautado na individualização dos protocolos reprodutivos (Ayantoye et al., 2025). A compreensão aprofundada das interações entre metabolismo, ambiente uterino e resposta hormonal permitirá o desenvolvimento de estratégias mais precisas, capazes de reduzir perdas embrionárias e aumentar a eficiência reprodutiva (Sartori et al., 2023; Ayantoye et al., 2025).

Nesse contexto, a integração entre dados fisiológicos, ferramentas tecnológicas e manejo reprodutivo estratégico configura um modelo inovador, no qual a tomada de decisão passa a ser orientada por evidências robustas e análises individualizadas, consolidando uma nova perspectiva para a reprodução bovina moderna (Ayantoye et al., 2025).

4.8 INTEGRAÇÃO DE FATORES E PERSPECTIVAS DE CAMPO

A transição do modelo convencional de inseminação artificial para a inseminação artificial em tempo fixo (IATF) não representou apenas uma mudança de técnica, mas uma mudança estrutural na gestão reprodutiva. Conforme discutido, enquanto desafios tradicionais — como a ocorrência de cios silenciosos — ainda persistem em sistemas menos tecnificados (Mathewos et al., 2023), a consolidação da manipulação hormonal permitiu que a pecuária escalasse seus resultados, mitigando a dependência da observação visual (Sales et al., 2024).

Entretanto, a análise integrada dos dados revela que a eficiência dessas estratégias é indissociável da qualidade da execução técnica. A proficiência do inseminador e o rigor operacional no manejo da cadeia de frio (nitrogênio líquido e descongelamento) formam o alicerce sem o qual as biotecnologias mais avançadas perdem eficácia (Dalton et al., 2021; Mathewos et al., 2023). Portanto, a biossegurança e a padronização não devem ser vistas como etapas secundárias, mas como pré-requisitos para a viabilidade espermática e o sucesso da concepção (Sartori et al., 2023).

Por fim, o horizonte da reprodução bovina aponta para uma convergência entre o manejo prático de campo e as tecnologias ômicas. A identificação de biomarcadores de fertilidade e o uso de modelos preditivos sugerem que o futuro da inseminação artificial será pautado pela individualização. A capacidade de cruzar informações fisiológicas, metabólicas e moleculares permitirá que o produtor tome decisões personalizadas, reduzindo perdas embrionárias precoces e otimizando o intervalo entre partos (Ayantoye et al., 2025; Tzelos et al., 2023).

Dessa forma, o manejo moderno da inseminação artificial exige uma visão sistêmica: o sucesso não depende de um único "protocolo milagroso", mas da sinergia entre o conhecimento fisiológico, o treinamento técnico rigoroso e a incorporação estratégica de inovações tecnológicas (Sales et al., 2024).

5 CONCLUSÃO

A inseminação artificial em bovinos configura-se como uma ferramenta estratégica para o avanço genético e a otimização da eficiência produtiva dos sistemas pecuários. No entanto, sua efetividade está condicionada a uma complexa interação de fatores técnicos, fisiológicos, metabólicos e estruturais, que influenciam diretamente os resultados reprodutivos.

Os desafios identificados abrangem desde limitações operacionais, como a escassez de infraestrutura adequada e de profissionais qualificados, até aspectos biológicos, incluindo a variabilidade na resposta aos protocolos hormonais e o impacto do estado metabólico das fêmeas sobre a fertilidade. Nesse contexto, a inseminação artificial em tempo fixo (IATF) representa um avanço significativo ao reduzir a dependência da detecção de estro e promover maior padronização dos manejos reprodutivos.

Paralelamente, o desenvolvimento e a incorporação de tecnologias inovadoras, como abordagens ômicas, biomarcadores precoces de gestação e ferramentas de modelagem preditiva, têm impulsionado a transição de um modelo reprodutivo padronizado para uma abordagem mais individualizada e orientada por dados. Esses avanços permitem maior precisão na tomada de decisão, contribuindo para o aumento das taxas de concepção e para a redução de perdas reprodutivas.

Dessa forma, conclui-se que a maximização da eficiência da inseminação artificial em bovinos depende da adoção de uma abordagem integrada, que associe manejo técnico qualificado, controle rigoroso dos processos operacionais, compreensão dos determinantes fisiológicos da fertilidade e incorporação de inovações tecnológicas. Nesse cenário, a tendência é que os programas reprodutivos evoluam progressivamente para sistemas mais precisos, personalizados e sustentáveis, consolidando a inseminação artificial como um pilar fundamental da bovinocultura moderna.

REFERÊNCIAS

- AYANTOYE, J. O. et al. Advances in Timed Artificial Insemination: Integrating Omics Technologies for Enhanced Reproductive Efficiency in Dairy Cattle. *Animals*, v. 15, n. 6, p. 816, 2025.
- ASSIS, R. E. F. et al. Determinants of fertility in timed artificial insemination programs in beef cattle: predictive ability and risk factors from almost 2 million data points. *Animal*, v. 19, e101410, 2025.
- CONSENTINI, C. E. C. et al. Reproductive outcomes of lactating dairy cows submitted to first timed artificial insemination protocols with different strategies to induce final ovulation. *Journal of Dairy Science*, v. 108, n. 1, p. 1138–1149, 2025.
- DALTON, J. C. et al. Artificial insemination of cattle: Description and assessment of a training program for veterinary students. *Journal of Dairy Science*, v. 104, n. 5, p. 6295-6303, 2021.
- GONÇALVES, Paulo Bayard Dias et al. *Biotécnicas aplicadas à reprodução animal*. 2. ed. São Paulo: Roca, 2008.
- MATHEWOS, M. et al. Assessment of Constraints of Artificial Insemination Service in Smallholder Dairy Cattle Keepers in Kacha Bira District of Southern Ethiopia. *Veterinary Medicine International*, v. 2023, p. 6512010, 2023.
- SALES, J. N. S. et al. Evolution over the last 40 years of the assisted reproduction technologies in cattle - the Brazilian perspective I - timed artificial insemination. *Animal Reproduction*, v. 21, n. 3, p. e20240034, 2024.
- SARTORI, R. et al. Manipulation of follicle development to improve fertility of cattle in timed-artificial insemination programs. *Animal*, v. 17, p. 100769, 2023.
- TZELOS, T. et al. Association between blood miR-26a levels following artificial insemination, and pregnancy outcome in dairy cattle. *PLOS ONE*, v. 18, n. 8, p. e0289342, 2023.