pubvet
MEDICINA VETERINÁRIA E ZOOTECNIA
ISSN 1982-1263
https://doi.org/10.31533/pubvet.v20n10e2014

Simulação dos custos de protocolos de IATF com e sem estradiol em bovinos

Bárbara Rodrigues dos Santos[1], Cícero Aparecido Pereira Rodrigues[1], Gabrielle Aparecida de Freitas[1], Leonardo Carvalho da Silva[1], Samara Alcatrão Nunes[1]*, Leticia Signori de Castro[2]

[1]Graduando em Medicina Veterinária, Centro Universitário das Américas – FAM, São Paulo, São Paulo, Brasil.
[2]Professora: do Centro Universitário das Américas – FAM, São Paulo, São Paulo, Brasil
**Autor para correspondência, e-mail: saamara.n@hotmail.com.*

Resumo. O objetivo deste estudo foi desenvolver uma planilha interativa para estimar o custo dos insumos hormonais por fêmea e por prenhez esperada em dois protocolos de inseminação artificial em tempo fixo (IATF) em bovinos, um com estradiol e outro sem estradiol, baseado em GnRH. Foram simuladas taxas de prenhez de 40% e 60% para o protocolo com estradiol e de 35% e 55% para o protocolo com GnRH. O custo estimado por prenhez foi maior no protocolo com GnRH tanto na comparação entre as menores taxas de cada protocolo quanto na comparação entre as maiores. Em um cenário ilustrativo, com taxas de 50% para o protocolo com estradiol e de 55% para o protocolo com GnRH, o custo estimado por prenhez foi menor no protocolo com GnRH. A comparação dos custos por prenhez esperada depende dos preços dos insumos hormonais e das taxas de prenhez adotadas em cada cenário.

Palavras-chave: Bovinos de corte, estradiol, GnRH, protocolos reprodutivos.

Cost simulation of fixed-time artificial insemination protocols with and without estradiol in cattle

Abstract. This study aimed to develop an interactive spreadsheet to estimate the cost of hormonal inputs per female and per expected pregnancy for two fixed-time artificial insemination (FTAI) protocols in cattle, one containing estradiol and the other based on GnRH and using no estradiol. Pregnancy rates of 40% and 60% were simulated for the estradiol protocol, and rates of 35% and 55% were simulated for the GnRH protocol. The estimated cost per pregnancy was higher for the GnRH protocol when the lower rates for each protocol were compared and when the higher rates were compared. In an illustrative scenario with pregnancy rates of 50% for the estradiol protocol and 55% for the GnRH protocol, the estimated cost per pregnancy was lower for the GnRH protocol. The comparison of costs per expected pregnancy depends on the prices of hormonal inputs and the pregnancy rates assumed in each scenario.

Keywords: Beef cattle, dairy cattle, estradiol, GnRH, reproductive protocols.

Introdução

A pecuária bovina de corte e de leite brasileira ocupa posição de destaque no mercado mundial, sendo o Brasil o segundo maior produtor e o maior exportador de carne bovina (ANUALPEC 2025; FAPRI 2025). Nesse contexto, o melhoramento genético e as biotecnologias reprodutivas, especialmente os protocolos de inseminação artificial em tempo fixo (IATF), vêm sendo continuamente aperfeiçoados e amplamente utilizados com o objetivo de aumentar a produtividade, reduzir custos e promover maior sustentabilidade dos sistemas de produção (Fidelis & Fernandes 2020; Inforzato et al. 2008; Royer & Henkes 2021; Silva Filho et al. 2023).

O uso de estrogênios nos protocolos de IATF tem sido amplamente difundido devido à sua elevada eficiência na regulação do ciclo estral e na sincronização da ovulação das fêmeas (Butler et al. 2011). A produção de estrogênios é um processo fisiológico essencial ao organismo dos animais e indispensável para a ocorrência da ovulação (Lima-Verde et al., 2011; Pierce & Parsons 1981; Starka & Duskova 2020).

A União Europeia proíbe a administração de estradiol 17β e de seus ésteres a animais destinados à produção de alimentos, inclusive para a sincronização do estro em bovinos (Diretiva 96/22/CE, alterada pela Diretiva 2008/97/CE). No Brasil, a Portaria SDA/MAPA nº 1.228/2025 homologou um protocolo privado de adesão voluntária para subsidiar a certificação oficial de fêmeas bovinas destinadas à exportação que não tenham sido submetidas a manejo com ésteres de estradiol. Ao discutir a segurança dos alimentos, Bó & Menchaca (2023) questionam a base científica da restrição para as doses utilizadas na IATF. Nesse contexto regulatório, a comparação dos custos dos insumos hormonais de protocolos com e sem estradiol pode auxiliar o planejamento reprodutivo.

A escolha do protocolo reprodutivo mais adequado pode variar conforme as características do rebanho, os objetivos produtivos, o investimento disponível e a taxa de prenhez esperada. Atualmente, existem protocolos baseados em GnRH como indutor da ovulação, dispositivos intravaginais de progesterona, uso de gonadotrofina coriônica equina (eCG) e protocolos com ou sem associação de estradiol, como o Co-Synch + P4 (Bucher et al. 2009; Butler et al. 2011; Holm et al. 2008; Al Yacoub et al. 2011). A adoção de protocolos com menor eficiência reprodutiva pode elevar os custos por prenhez e aumentar a complexidade do manejo, ocasionando impactos zootécnicos e econômicos.

O presente estudo teve como objetivo desenvolver uma planilha interativa para simular e comparar os custos dos insumos hormonais de dois protocolos de IATF em bovinos, um com estradiol e outro sem estradiol, e estimar o custo desses insumos por prenhez em diferentes cenários de taxa de prenhez.

Material e métodos

O presente trabalho caracteriza-se como um estudo de natureza teórica e aplicada, fundamentado na análise de informações técnico-científicas disponíveis na literatura, sem a realização de experimentação *in vivo* ou aplicação prática dos protocolos reprodutivos. O foco metodológico consistiu no desenvolvimento de uma ferramenta computacional, na forma de uma planilha interativa, destinada a auxiliar produtores e técnicos na avaliação econômica de protocolos de IATF.

Para que as simulações refletissem condições próximas às observadas em campo, as taxas de eficiência reprodutiva foram estabelecidas com base em levantamento bibliográfico realizado em artigos científicos, revisões especializadas, livros e manuais técnicos sobre reprodução bovina. A pesquisa foi conduzida nas bases de dados PubMed, SciELO e Google Acadêmico, utilizando os descritores "IATF", "estradiol", "GnRH", "protocolos reprodutivos", "bovinos de corte" e "bovinos de leite". A literatura consultada foi utilizada para contextualizar as taxas de prenhez. Para a simulação, adotaram-se taxas de 40% e 60% para o protocolo com estradiol e de 35% e 55% para o protocolo com GnRH. Esses valores foram tratados como premissas do modelo. Foram comparadas as duas taxas inferiores e as duas taxas superiores. Em um cálculo ilustrativo adicional, aplicou-se a mesma fórmula a taxas de 50% para o protocolo com estradiol e de 55% para o protocolo com GnRH, a fim de mostrar como a combinação das taxas afeta o custo estimado por prenhez.

Com base nas informações obtidas na literatura científica, foram selecionados e parametrizados dois protocolos consolidados de IATF. O primeiro protocolo (Tabela 1), à base de estradiol, tem início em D-10 (dez dias antes do Dia 0 do protocolo hormonal), com a aplicação intramuscular de 1 mL de Sincrogest® injetável. No Dia 0 (D0), é realizado à inserção do dispositivo intravaginal de progesterona (Sincrogest®), associada à administração de 2ml de benzoato de estradiol (Sincrodiol®). No Dia 8 (D8), realiza-se a remoção do dispositivo intravaginal, concomitantemente à aplicação intramuscular de 2 mL de cloprostenol sódico (Sincrocio®), 1 mL de cipionato de estradiol (SincroCP®) e 1,5 mL de gonadotrofina coriônica equina (SincroeCG®). Após 48 horas, no Dia 10 (D10), é feito a IATF.

O segundo protocolo (Tabela 2), baseado em GnRH, inicia-se com a administração intramuscular de 2,5 mL de acetato de buserelina (Sincroforte®), simultaneamente à inserção do dispositivo intravaginal de progesterona (Sincrogest®). No Dia 7 (D7), é feita a retirada do dispositivo e a aplicação de 2 mL de cloprostenol sódico (Sincrocio®). Entre os Dias 8 e 9 (D8–D9), aproximadamente 48 a 72 horas após a

indução da luteólise, é administrada uma segunda dose de 2,5 mL de acetato de buserelina (Sincroforte®), seguida da realização da IATF.

A parametrização econômica da ferramenta foi realizada a partir do levantamento dos custos dos medicamentos e materiais empregados nos protocolos, utilizando valores reais de mercado. A coleta dos preços dos insumos hormonais – incluindo dispositivos intravaginais de progesterona, GnRH, prostaglandina F2α (PGF2α), eCG e benzoato de estradiol – foi realizada em setembro de 2026, em plataformas de comércio eletrônico e em distribuidoras agropecuárias de abrangência nacional, como a Agrocampo Giordani. O cálculo econômico considerou o valor comercial das doses efetivamente utilizadas por animal, padronizando os custos para possibilitar comparações diretas entre os diferentes protocolos avaliados.

Tabela 1. Custos para protocolos de estradiol – Pre-Synch – valor obtido em Setembro/2026 (50 protocolos)

Quatidade	Procolo A – Estradiol – PreSinch – Ouro Fino	Valor Unitário	Valos total
50	Dispositivo Intravaginal de Progesterona - Sincrogest® para 3 usos	16,00	800,00
3	Frasco de SincroeCG®, 30 mL, com 20 doses	185,00	555,00
2	Frasco de Sincrocio®, com 50 mL	94,00	188,00
2	Frasco de Sincrodiol®, com 50 mL	19,50	39,00
1	Frasco de SincroCP®, com 50 mL	41,00	41,00
1	Frasco de Sincrogest®, injetáve, com 50 mL	275,00	275,00
Total			1.898,00
Total, por animal			37,96

Tabela 2. Custos para procolotos de GnRH – Ovsynch – valor obtidos em Setembro/2026 (50 protocolos)

Quatidade	Procolo B – GnRH – Ovsynch – Ouro Fino	Valor Unitário	Valor total
50	Dispositivo Intravaginal de Progesterona - Sincrogest® para 3 usos	16,00	800,00
7	Frascos de Sincroforte®, com 20 mL (induç. sincronização da ovulação).	75,00	525,00
2	Frasco de Sincrocio®, com 50 mL (Prostagladina para regessão do corpo lúteo)	94,00	188,00
7	Frascos de Sincroforte®, com 20 mL (Segunda aplicação antes da IATF)	75,00	525,00
Total			2.038,00
Total, por animal			40,76

Fonte: https://www.agrocampogiordani.com.br

Como estratégia de extensão e divulgação da pesquisa, foi desenvolvida uma ferramenta computacional utilizando o software Microsoft Excel®. A planilha foi estruturada em módulos independentes, contemplando abas destinadas à descrição dos protocolos reprodutivos, ao levantamento dos custos dos insumos, ao processamento dos cálculos econômicos e à interface de utilização. O sistema foi projetado para exigir o mínimo de interação do usuário. Na interface principal, informa-se apenas o número de fêmeas a serem sincronizadas e, a partir dessa entrada, todos os resultados são processados automaticamente por meio de fórmulas vinculadas às abas internas da planilha.

Para a operacionalização da ferramenta, foram desenvolvidos módulos interligados de cálculo automático. O custo total do protocolo (CP) foi obtido pelo somatório do produto entre a quantidade de cada insumo e seu respectivo valor unitário de mercado, conforme a expressão:

$CP = \Sigma (qi \times vi)$, em que *qi* representa a quantidade do insumo *i* e *vi* corresponde ao seu valor unitário.

Considerando um lote padrão de 50 animais, o custo total foi de R$ 1.898,00 para o protocolo à base de estradiol e de R$ 2.038,00 para o protocolo baseado em GnRH. O custo unitário por fêmea (C_{unit}) foi obtido pela razão entre o custo total do protocolo e o número de animais do lote, resultando em R$ 37,96 e R$ 40,76, respectivamente.

O custo dos insumos hormonais por prenhez estimada foi calculado pela seguinte expressão.

Custo por prenhez = C_{unit}/ T, em que C_{unit} representa o custo dos insumos hormonais por animal e T corresponde à taxa de prenhez, expressa na forma decimal. Para cada protocolo foram considerados os cenários, permitindo estimar e comparar o custo por prenhez entre as alternativas avaliadas.

A validação da ferramenta foi realizada por meio de auditoria e conferência cruzada, linha a linha, entre os valores unitários obtidos nas cotações comerciais e os cálculos gerados pela planilha para

diferentes tamanhos de rebanho, variando de 50 a 1.000 animais. Esse procedimento assegurou a consistência matemática dos cálculos, a integridade dos indicadores econômicos e a reprodutibilidade dos cenários simulados.

Como produto final, a ferramenta estima automaticamente o custo total de cada protocolo, o número esperado de prenhezes e o custo dos insumos hormonais por prenhez estimada. Essa abordagem possibilita a comparação técnica e econômica direta entre os protocolos tradicionais à base de estradiol e os protocolos alternativos fundamentados no uso de GnRH, constituindo uma ferramenta estratégica de apoio à tomada de decisão por produtores e técnicos.

Resultados e discussão

Os resultados deste estudo materializam-se na ferramenta computacional desenvolvida, capaz de converter parâmetros zootécnicos em indicadores econômicos de fácil interpretação para o produtor. Para demonstrar o funcionamento da planilha e evidenciar o impacto econômico da escolha do protocolo reprodutivo, adotou-se, inicialmente, um cenário de referência composto por 100 fêmeas bovinas submetidas à sincronização para IATF (Figura 1).

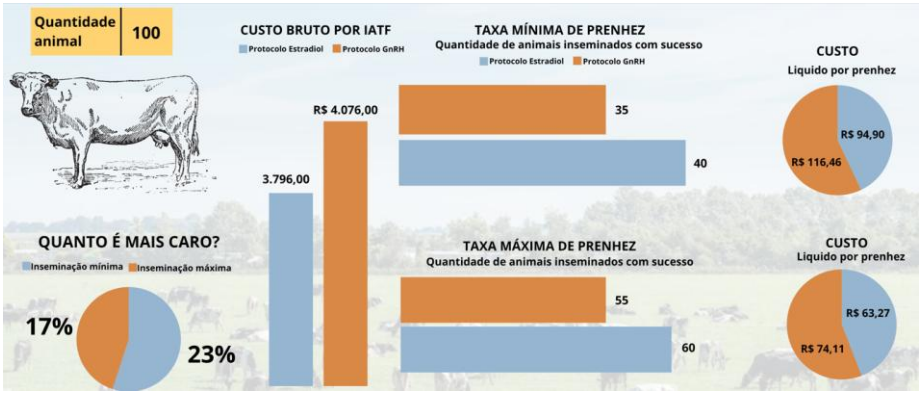

Figura 1. Painel interativo de simulação comparativa de custos e eficiência entre os protocolos com Estradiol e GnRH para um rebanho de 100 animais.

A análise do custo bruto inicial já demonstra uma desvantagem financeira para os protocolos alternativos. A simulação aponta um investimento total em insumos de R$ 3.796,00 para o protocolo com estradiol e R$ 4.076,00 para o protocolo com GnRH. Contudo, a avaliação econômica na pecuária reprodutiva não deve se limitar ao custo de balcão dos fármacos, devendo obrigatoriamente cruzar esse investimento com a taxa de sucesso da biotecnologia.

Para o lote de 100 fêmeas, as taxas adotadas resultaram em 40 a 60 prenhezes esperadas no protocolo com estradiol e em 35 a 55 no protocolo com GnRH (Figura 1). Em vacas Nelore lactantes, Lemos (2024) observou diferença na taxa de prenhez por inseminação em um dos experimentos e taxas semelhantes em outro. Os esquemas avaliados naquele estudo incluíram eCG e diferiram do protocolo com GnRH simulado neste trabalho. Assim, as projeções da planilha devem ser interpretadas de acordo com as taxas atribuídas a cada cenário.

Entre as alternativas à IATF com estradiol, Bó & Menchaca (2023) discutem protocolos à base de GnRH e progesterona, com ou sem suplementação de eCG. Em vacas *Bos indicus*, a revisão relata taxas de prenhez menores com GnRH em algumas comparações e ausência de diferença estatística em uma comparação na qual ambos os protocolos incluíram eCG. Essa variação entre os estudos reforça que as projeções da planilha devem ser interpretadas à luz das taxas de prenhez adotadas em cada cenário.

A união entre um custo inicial mais alto e uma menor taxa de prenhez gera um efeito cascata que penaliza severamente o custo estimado por bezerro gerado, conforme detalhado na figura 2.

A ordem dos custos estimados variou conforme a combinação das taxas de prenhez. Em um cenário ilustrativo, adotando-se 50% para o protocolo com estradiol e 55% para o protocolo com GnRH, os custos estimados foram de R$ 75,92 e R$ 74,11 por prenhez, respectivamente. O resultado mostra que

a diferença no custo dos insumos por fêmea pode ser compensada pela taxa de prenhez assumida na simulação.

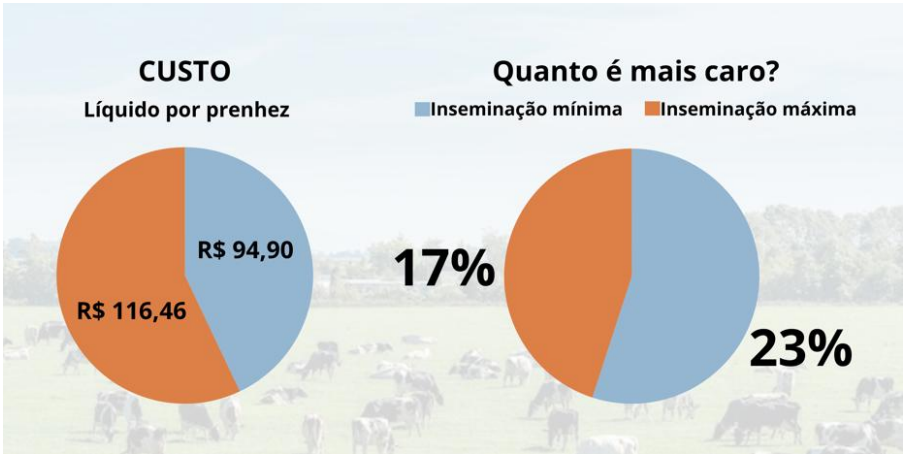

Figura 2. Comparativo do custo dos insumos hormonais por prenhez estimada e o percentual de encarecimento na adoção do protocolo alternativo.

Ao avaliarmos o cenário de taxa mínima de prenhez, o custo dos insumos hormonais por prenhez estimada é de R$ 94,90 no protocolo com estradiol e de R$ 116,46 no protocolo com GnRH, representando um aumento de aproximadamente 23% no custo estimado por prenhez ao optar pelo protocolo alternativo. No cenário de taxa máxima de prenhez, o custo estimado é de R$ 63,27 para o protocolo com estradiol e de R$ 74,11 para o protocolo com GnRH, mantendo uma diferença de aproximadamente 17,13%. Dessa forma, mesmo considerando a maior taxa de prenhez prevista para cada protocolo, a simulação indica um custo dos insumos hormonais por prenhez estimada superior para o protocolo baseado em GnRH.

Para evidenciar o tamanho desse impacto na realidade de propriedades comerciais maiores, a ferramenta permite simular cenários expandidos. Projetando a simulação para um rebanho de 1.000 cabeças, a diferença econômica torna-se expressiva. O custo bruto para sincronizar as 1.000 fêmeas com estradiol seria de R$ 37.960,00, contra R$ 40.760,00 do GnRH — um desembolso extra de R$ 2.800,00 apenas na compra dos protocolos.

Mais alarmante que o custo dos fármacos é a perda de eficácia: considerando o cenário de taxa mínima, o protocolo com estradiol resultaria em 400 prenhezes, enquanto o GnRH entregaria apenas 350. Ou seja, ao adotar o protocolo sem estradiol em 1.000 vacas, o produtor gastaria R$ 2.800,00 a mais e, ainda assim, a simulação projetou 50 prenhezes a menos para o protocolo com GnRH nesse cenário.

Como ressalta Lima (2021), o desempenho da IATF depende de múltiplos fatores, como o estado fisiológico da fêmea, a categoria animal e a resposta hormonal intrínseca. Dessa forma, os resultados gerados pela planilha reforçam que, apesar de os protocolos alternativos manterem relevância estratégica para mercados que restringem hormônios esteroides, eles ainda representam um gargalo econômico considerável. A ferramenta desenvolvida cumpre seu papel ao escancarar essa realidade matemática de forma interativa, permitindo que a transição de protocolos seja feita com planejamento financeiro robusto, e não apenas de forma reativa às obrigatoriedades sanitárias e de exportação.

Conclusão

A planilha desenvolvida permite estimar o custo dos insumos hormonais por fêmea e por prenhez esperada para dois protocolos de IATF. O protocolo com GnRH apresentou maior custo por prenhez esperada nas comparações entre as duas taxas inferiores e entre as duas taxas superiores. Em outra combinação de taxas, o protocolo com GnRH apresentou menor custo por prenhez esperada. A interpretação dos resultados deve considerar os custos dos insumos e as taxas de prenhez adotadas em cada cenário.

Referências

Al Yacoub, A. N., Gauly, M., Sohnrey, B., & Holtz, W. (2011). Fixed-time deep uterine insemination in PGF2α-synchronized goats. *Theriogenology*, *76*(9), 1730–1735. https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2011.07.005.

ANUALPEC. (2025). *Anuário da Pecuária Brasileira* (20th ed., Vol. 1). Instituto FNP.

Bó, G. A., & Menchaca, A. (2023). Prohibition of hormones in animal reproduction: what to expect and what to do? *Animal Reproduction*, *20*(2). https://doi.org/10.1590/1984-3143-AR2023-0067.

Bucher, A., Kasimanickam, R., Hall, J. B., Dejarnette, J. M., Whittier, W. D., Kähn, W., & Xu, Z. (2009). Fixed-time AI pregnancy rate following insemination with frozen-thawed or fresh-extended semen in progesterone supplemented CO-Synch protocol in beef cows. *Theriogenology*, *71*(7), 1180–1185. https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2008.12.009.

Butler, H. M., Butler, A., Etcheverry, E., & Cesaroni, G. (2011). Efecto de la dosis de cipionato de estradiol al finalizar un tratamiento con progesterona sobre el porcentaje de preñez a la IATF en vaquillonas. *Rev. Taurus*, *13*(52).

Butler, S. A. A., Phillips, N. J., Boe-Hansen, G. B., Bo, G. A., Burns, B. M., Dawson, K., & McGowan, M. R. (2011). Ovarian responses in Bos indicus heifers treated to synchronise ovulation with intravaginal progesterone releasing devices, oestradiol benzoate, prostaglandin F2α and equine chorionic gonadotrophin. *Animal Reproduction Science*, *129*(3–4), 118–126. https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2011.11.001.

Directiva 2008/97/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de novembro de 2008, que altera a Directiva 96/22/CE do Conselho. (2008). *Jornal Oficial da União Europeia*, L 318, 9–11. EUR-Lex eur-lex.europa.eu

FAPRI. (2025). Food and Agricultural Policy Research Institute. In I. S. U. and U. of Missouri-Columbia (Ed.), *Food and Agricultural Policy Research Institute*. Iowa State University and University of Missouri-Columbia.

Fidelis, C. A. S., & Fernandes, D. P. P. (2020). Emprego de IATF como alternativa para melhorar a eficiência reprodutiva de vacas leiteiras. *PUBVET*, *14*(1), 1–5. https://doi.org/10.31533/pubvet.v14n1a483.1-5.

Holm, D. E., Thompson, P. N., & Irons, P. C. (2008). The economic effects of an estrus synchronization protocol using prostaglandin in beef heifers. *Theriogenology*, *70*(9), 1507–1515.

Inforzato, G. R., Santos, W. R. M., Climeni, B. S. O., Dellalibera, F. L., & Filadelpho, A. L. (2008). Emprego de IATF (Inseminação Artificial em Tempo Fixo) como alternativa na reprodução da pecuária de corte. *Revista Científica Eletrônica de Medicina Veterinária*, *11*, 1–8.

Lemos, L. A. (2024). *Diferentes estratégias hormonais em protocolos de IATF sem a utilização de estrógeno na fertilidade de vacas Bos indicus*. Universidade Federal de Lavras.

Lima, J. A. (2021). *Aspectos endocrinológicos dos protocolos de IATF em vacas de corte*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Lima-Verde, I. B., Rossetto, R., & Figueiredo, J. R. (2011). Influencia dos hormônios esteroides na foliculogênese. *Revista Brasileira de Reprodução Animal*, *35*(4), 472–482.

Pierce, J. G., & Parsons, T. F. (1981). Glycoprotein hormones: structure and function. *Annual Review of Biochemistry*, *50*(1), 465–495.

Portaria SDA/MAPA nº 1.228, de 16 de janeiro de 2025. (2025). Homologa o Protocolo de Exportação de Fêmeas Bovinas. *Diário Oficial da União*, seção 1, p. 1. Imprensa Nacional

Royer, C. L., & Henkes, J. A. (2021). Contribuição da IATF para o melhoramento genético do gado de corte e bem estar do rebanho. *Revista Brasileira de Meio Ambiente & Sustentabilidade*, *1*(2), 114–127.

Silva Filho, M. L., Machado Júnior, A. A. N., Lisboa Neto, A. F. S., Dias, T. P., Porfírio, K. P., Dantas, J. B. G., Silva, J. C. F., Oliveira, M. A. L., Lima, W. C., & Nascimento, L. F. M. (2023). Avaliação do diâmetro folicular no momento da IATF sobre a taxa de prenhez de vacas Nelore. *PUBVET*, *17*(7), e1413–e1413. https://doi.org/2PUBVET10.31533/pubvet.v17n7e1413..

Starka, L., & Duskova, M. (2020). What Is a Hormone? *Physiological Research*, *69*. https://doi.org/10.33549/physiolres.934509.

Histórico do artigo:
Recebido: 17 de setembro de 2026
Aprovado: 12 de outubro de 2026

Licenciamento: Este artigo é publicado na modalidade Acesso Aberto sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 (CC-BY 4.0), a qual permite uso irrestrito, distribuição, reprodução em qualquer meio, desde que o autor e a fonte sejam devidamente creditados.