

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

**Fatores associados à duração da gestação em vacas da raça holandesas no
Brasil**

Rayce Aparecida Ferreira
Magister Scientiae

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2025**

RAYCE APARECIDA FERREIRA

Fatores associados à duração da gestação em vacas da raça holandesas no Brasil

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Medicina Veterinária, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientadora: Simone E. F. Guimaraes

Coorientadores: Rafael Alves de Azevedo
Polyana Pizzi Rotta

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2025**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

F383f
2025
Ferreira, Rayce Aparecida, 1997-
Fatores associados à duração da gestação em vacas da raça
holandesa no Brasil / Rayce Aparecida Ferreira. – Viçosa, MG,
2025.

1 dissertação eletrônica (61 f.): il.

Orientador: Simone Eliza Facioni Guimarães.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa,
Departamento de Veterinária, 2025.

Referências bibliográficas: f. 53-61.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2026.013>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Vacas - Gestação. 2. Bezerros - Desenvolvimento.
3. Distocia. I. Guimarães, Simone Eliza Facioni, 1966-.
II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de
Veterinária. Programa de Pós-Graduação em Medicina
Veterinária. III. Título.

CDD 22. ed. 636.208982

RAYCE APARECIDA FERREIRA

Fatores associados à duração da gestação em vacas da raça holandesas no Brasil

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Medicina Veterinária, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 30 de julho de 2025.

Assentimento:

Rayce Aparecida Ferreira
Autora

Simone Eliza Facioni Guimaraes
Orientadora

Essa dissertação foi assinada digitalmente pela autora em 16/01/2026 às 18:22:03 e pela orientadora em 18/01/2026 às 15:30:12. As assinaturas têm validade legal, conforme o disposto na Medida Provisória 2.200-2/2001 e na Resolução nº 37/2012 do CONARQ. Para conferir a autenticidade, acesse <https://siadoc.ufv.br/validar-documento>. No campo 'Código de registro', informe o código **1H1B.56TD.25X2** e clique no botão 'Validar documento'.

Dedico esse trabalho ao meu primo Samuel Alexandre da Fonseca, que foi morar com o Papai do céu e que através do seu amor incondicional e dos planos que tínhamos juntos, mesmo após virar estrelinha, aqueceu e inundou meu coração de amor, sempre estando presente nas minhas orações e nas minhas realizações. Dedico a você, Mumu, todas as minhas conquistas. Amo você e quando Ele queira, nos reencontraremos na casa do Pai.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu bom Deus por todo o amor incondicional, pela infinidade de bênçãos recebidas, por sempre ter me guiado e me dado forças nos momentos em que nem eu mesma acreditei conseguir;

À minha amada mãe Cristiana, por ter me permitido ir em busca dos meus sonhos e que sempre me apoiou, me deu forças e sempre esteve orando por mim. Obrigada mãe!

Ao meu paizinho Marcos, que apesar de todas as dificuldades me apoiou, me forneceu palavras de carinho e fé e nunca me deixou desanimar. Obrigada pai!

Às minhas irmãs Ranielly e Rayslla que sempre me apoiaram, me deram forças, me impulsionaram e que sempre estiveram do meu lado, comemorando comigo cada conquista, amo vocês! Obrigada, maninhas!

À minha amada sobrinha e afilhada Sofia, por sempre me encher de amor e carinho, tornando essa jornada mais fácil e leve. Obrigada meu amo!

Obrigada a todos os meus amigos que torceram por mim e que do meu lado, comemoram cada vitória. Em especial às minhas amigas Fernanda Durante, Fernanda Ripel, Bárbara Alves, Iasmin Benedito, Bruna Furtado, Giovanna Goulart, Mikelli, Mariana Moraes e Alessandra, pela amizade que me proporcionou muito aprendizado, experiências e pelas valiosas orações. Sem vocês teria sido muito mais difícil. Amo vocês! Aos meus amigos e colegas da Alta Brasil, Gustavo Gonçalves, Rodrigo Moraes, Rodrigo Peixoto, Guilherme Marquez e Timotheo Silveira, que me ajudaram em vários momentos dessa jornada, me aconselhando, dividindo experiências e risadas, tornando a jornada mais leve e acolhedora. Obrigada meninos!

A todos os colegas conquistados durante o mestrado e a todos os professores que indiretamente contribuíram para essa realização, em especial ao professor José Domingos Guimarães, por todos os ensinamentos.

Ao meu atual gestor Fábio Fogaça, que se tornou um amigo ao decorrer desse processo e que me apoiou e me deu liberdade para conciliar o mestrado e o trabalho, pois sabia o quanto era importante para mim! Obrigada Fábio!

Ao meu antigo gestor e sempre amigo, Cleocy Junior, que contribuiu e tem contribuído imensamente com a minha formação profissional e que foi crucial durante todo esse processo, me aconselhando, apoiando e tornando esse novo desafio empresarial, que até então era novo para mim, muito mais tranquilo e leve. Obrigada Papabear!

Ao Tiago Ferreira, que em 2022 me deu a oportunidade de ingressar na

Alta Brasil como estagiária do Concept Plus Leite e que contribuiu muito com a minha carreira corporativa.

À Rosi, ex-secretária do Departamento de Veterinária, por toda a ajuda, paciência e suporte durante todos os anos de graduação e também de mestrado. Obrigada, Rosi!

À Alta Genetics, por ter cedido e permitido a utilização destes dados valiosos para a pecuária de leite no Brasil!

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de realização e conclusão do curso.

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

A minha orientadora, Simone Eliza Facioni Guimarães, pelo apoio, pela paciência, pelos ensinamentos, pelos puxões de orelha e acima de tudo, por entender as minhas dificuldades e limitações. Obrigada, de coração!

Aos meus conselheiros, Polyana Pizzi Rotta, Rafael Alves de Azevedo e Tadeu Eder, pelas grandiosas contribuições essenciais para a conclusão deste trabalho. Este trabalho foi realizado com o apoio das seguintes agências de pesquisa brasileiras: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

RESUMO

FERREIRA, Rayce Aparecida, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2025. **Fatores associados à duração da gestação em vacas da raça holandesas no Brasil.** Orientadora: Simone Eliza Facioni Guimaraes. Coorientadores: Rafael Alves de Azevedo e Polyana Pizzi Rotta.

Este estudo teve como objetivo identificar os fatores associados à variação na duração da gestação (DG) em vacas Holandesas criadas em diferentes regiões do Brasil. Foram analisadas 60.302 gestações de propriedades comerciais, utilizando modelos lineares mistos com efeitos fixos de ordem de parto (linear e quadrático), tipo de parto, ordem de parto da vaca, estação de concepção, ano de nascimento e peso ao nascimento da bezerra, além do efeito aleatório de fazenda. A média geral da DG observada foi de $276,1 \pm 5,4$ dias. A ordem de parto apresentou efeito significativo ($p < 0,001$), com tendência quadrática: vacas primíparas apresentaram gestações ligeiramente mais curtas, seguidas de leve aumento em partos subsequentes. O tipo de parto influenciou a DG ($p < 0,001$), sendo partos distócicos associados a maior duração. A estação de concepção afetou a DG ($p < 0,001$), com redução média de até 0,8 dias em concepções ocorridas no verão. O peso ao nascimento das bezerras apresentou associação positiva com a DG ($p < 0,001$), indicando que gestações mais longas resultaram em bezerras mais pesadas. O tipo de sêmen apresentou efeito discreto sobre a DG ($p < 0,001$). Estes resultados, obtidos a partir de uma base de dados ampla, multicêntrica e tropical, fornecem subsídios importantes para planejamento de manejo reprodutivo e previsão de parto em sistemas leiteiros comerciais.

Palavras-chave: comprimento gestacional; desenvolvimento fetal; distocia; estresse térmico; manejo reprodutivo

ABSTRACT

FERREIRA, Rayce Aparecida, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2025. **Factors associated with gestation length in holstein cows in Brazil.** Adviser: Simone Eliza Facioni Guimaraes. Co-advisers: Rafael Alves de Azevedo and Polyana Pizzi Rotta.

This study aimed to identify the factors associated with variation in gestation length (GL) in Holstein cows raised in different regions of Brazil. A total of 60,302 gestations from commercial herds were analyzed using linear mixed models with fixed effects of parity order (linear and quadratic), type of calving, cow parity, conception season, year of birth, and calf birth weight, in addition to the random effect of farm. The overall mean GL observed was 276.1 ± 5.4 days. Parity order had a significant effect ($p < 0.001$) with a quadratic trend: primiparous cows showed slightly shorter gestations, followed by a mild increase in subsequent calvings. Calving type influenced GL ($p < 0.001$), with dystocic calvings associated with longer gestations. Conception season affected GL ($p < 0.001$), with an average reduction of up to 0.8 days in calvings occurring in summer. Calf birth weight was positively associated with GL ($p < 0.001$), indicating that longer gestations resulted in heavier calves. Semen type had a minor effect on GL ($p < 0.001$). These results, obtained from a large, multicentric, and tropical database, provide important insights for reproductive management planning and calving prediction in commercial dairy systems.

Keywords: calving dystocia; fetal development; gestation length; reproductive management; thermal stress

Sumário

1.	INTRODUÇÃO	10
2.	REVISÃO DE LITERATURA.....	11
2.1	FATORES GENÉTICOS INFLUENCIANDO NA DURAÇÃO DA GESTAÇÃO 15	
2.2	HERDABILIDADE DA DURAÇÃO DA GESTAÇÃO.....	17
2.3	EFEITOS DO ESTRESSE POR CALOR SOBRE A DURAÇÃO DA GESTAÇÃO EM VACAS LEITEIRAS.....	19
2.4	EFEITOS SAZONAIS SOBRE A DURAÇÃO DA GESTAÇÃO EM BOVINOS LEITEIROS 23	
2.5	INFLUÊNCIA DA NUTRIÇÃO MATERNA NA DURAÇÃO DA GESTAÇÃO E NO DESENVOLVIMENTO FETAL	24
2.6	EFEITOS DO TIPO DE PARTO SOBRE A DURAÇÃO DA GESTAÇÃO E A VIABILIDADE NEONATAL	28
2.7	EFEITO DA ORDEM DE PARTO SOBRE A DURAÇÃO DA GESTAÇÃO	29
2.8	INTERAÇÃO ENTRE FATORES AMBIENTAIS E GENÉTICOS NA DURAÇÃO DA GESTAÇÃO.....	31
3.	MATERIAL E MÉTODOS	34
3.1	ORIGEM DOS DADOS	34
4.	ANÁLISE ESTATÍSTICA	35
4.1	MODELOS ESTATÍSTICOS PROPOSTOS.....	36
4.1.1	Modelo 1 – Efeito aleatório da fazenda sobre a duração da gestação ..	36
4.1.2	Modelo 2 – Efeito fixo do ano de nascimento e aleatório da fazenda	37
4.1.3	Modelo 3 – Efeito do tipo de sêmen e ano sobre a duração da gestação 37	
4.1.4	Modelo 4 – Efeito do tipo de parto e ano sobre a duração da gestação	38
4.1.5	Modelo 5 – Efeito da estação de concepção e ano sobre a duração da gestação 38	
4.1.6	Modelo 6 – Regressão múltipla com variáveis explicativas	39
4.2	Seleção e Diagnóstico do Modelo.....	39
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
6.	CONCLUSÃO.....	52

7.	REFERÊNCIAS	53
----	-------------------	----

1. INTRODUÇÃO

A duração da gestação (DG) em bovinos é definida como o intervalo, em dias, desde a concepção até o parto. Este parâmetro apresenta grande relevância zootécnica, pois impacta diretamente o sucesso reprodutivo, o manejo pré-parto, o bem-estar animal e a sobrevivência neonatal (Vieira-Neto et al., 2017; Haile-Mariam & Pryce, 2019; Pajohande et al., 2023; Hoseini et al., 2024).

Além dos impactos sobre a viabilidade neonatal, o tempo adequado de gestação é fundamental para que eventos fisiológicos essenciais na vaca sejam concluídos corretamente, como a colostrogênese e a mamogênese. A colostrogênese, que ocorre predominantemente nas últimas semanas de gestação, é responsável pela síntese e acúmulo de imunoglobulinas e nutrientes no colostro, sendo diretamente influenciada pelo perfil endócrino característico do terço final da gestação e pelo período gestacional (Barrington & Parrish, 2001). Paralelamente, a mamogênese – fase final do desenvolvimento da glândula mamária – também se intensifica no terço final da gestação e é essencial para garantir uma lactação subsequente eficiente (Moura et al., 2015). Gestações abreviadas podem comprometer esses eventos, reduzindo a qualidade e a quantidade de colostro, assim como a capacidade de produção de leite na lactação (Drackley, 1999; Tao & Dahl, 2013, Hoseini et al., 2024).

O período gestacional adequado apresenta um intervalo de duração de 270 a 290 dias, e é essencial para garantir o completo desenvolvimento fetal, maior peso ao nascimento, ganhos na imunocompetência, sobrevivência do neonato, redução de distocias, alterações na produtividade e desempenho reprodutivo da matriz (Bittrich et al., 2004; Nogalski & Piwczyński, 2012; Pajohande et al., 2023; Rachia et al., 2024).

A DG apresenta valores de herdabilidade moderados (Haile-Mariam e Pryce, 2019; Galluzzo et al., 2023; Rachia et al., 2024), o que sugere a influência significativa de fatores genéticos e ambientais na expressão e variação da DG. Entre os principais fatores estão a raça, o sexo e o peso do bezerro, a paridade da vaca, a estação do ano e o sistema de manejo adotado (Johanson & Berger, 2003; McClintock et al., 2003; Rachia et al., 2024).

Apesar da relevância econômica e sanitária para a bovinocultura leiteira, a duração da gestação ainda é pouco explorada nos programas de melhoramento genético, especialmente no Brasil, onde os esforços de seleção permanecem concentrados em parâmetros produtivos (Braga et al., 2025). Na literatura científica,

a maior parte das informações disponíveis sobre a duração da gestação em vacas Holandesas deriva de populações criadas em ambientes de clima temperado, como Estados Unidos, Canadá e países europeus (Cole et al., 2005; Eaglen et al., 2013; Vieira-Neto et al., 2017; Galluzzo et al., 2023). A predominância de estudos conduzidos nesses contextos, caracterizados por condições ambientais mais favoráveis à raça, pode limitar a extrapolação dos resultados para rebanhos comerciais submetidos a sistemas tropicais, nos quais os desafios climáticos são substancialmente distintos.

Ainda, no Brasil, cuja extensão territorial implica ampla variabilidade edafoclimática, os rebanhos da raça Holandesa encontram-se distribuídos em ambientes marcadamente distintos. As fazendas diferem quanto à altitude, temperatura média, amplitude térmica diária, umidade relativa, índice de THI, regime pluviométrico e duração da estação seca, além de apresentarem grande variação nos sistemas de produção – incluindo modelos intensivos confinados, semi-intensivos e sistemas a pasto. Soma-se a isso a diversidade no nível tecnológico, no tipo de instalações, no acesso a estratégias de mitigação do estresse térmico e na qualidade do manejo nutricional e reprodutivo. Essa heterogeneidade ambiental e de manejo pode modificar de forma substancial a expressão fenotípica da duração da gestação e seus desdobramentos sobre o desempenho produtivo e reprodutivo dos rebanhos.

Neste contexto, o presente estudo teve como objetivo identificar, por meio de uma abordagem retrospectiva e com base em um banco de dados robusto e multirregional, os fatores associados à variabilidade da duração da gestação em vacas da raça Holandesa criadas no Brasil. Para garantir elevada robustez analítica e representatividade dos resultados, foram utilizados dados provenientes do programa Alta CRIA, o qual reúne informações padronizadas de rebanhos distribuídos em diferentes regiões do país.

2. REVISÃO DE LITERATURA

A DG é um parâmetro fisiológico com impacto direto no peso ao nascimento, facilidade de parto, desempenho pós-natal e taxas de natimortalidade. Mesmo variações de poucos dias na gestação podem alterar significativamente esses desfechos. A média da duração da gestação em bovinos da raça Holandesa é de aproximadamente 280 dias (9 meses e 10 dias). Contudo, esse valor poderá variar

em função de fatores genéticos e ambientais (McClintock et al., 2003; Hoseini et al., 2024; Rachia et al., 2024;).

Diversos elementos influenciam expressão fenotípica da DG, incluindo o genótipo dos progenitores, sexo e peso do(a) bezerr(o)a ao nascimento, tipo de gestação (única ou gemelar), idade e paridade da vaca, estação do ano e condições ambientais e de manejo (McClintock et al., 2003; Vieira-Neto et al., 2017). O conhecimento das fontes de variação é de grande interesse para rebanhos comerciais, pois tal conhecimento permite determinação de melhores estratégias para o manejo reprodutivo e produtivo dos rebanhos e o conhecimento preciso da duração gestacional possibilita um planejamento mais eficiente de eventos críticos, como a secagem da vaca, o preparo para o parto e as estratégias de manejo neonatal.

A precisão na estimativa da data de parto, baseada na concepção, é essencial para otimizar práticas de manejo pré e pós-parto, garantindo a saúde materna e neonatal e impactando positivamente a eficiência dos sistemas de produção de leite. De forma prática, o conhecimento da duração da gestação (DG) permite ações como a separação adequada de vacas para lotes de pré-parto, ajustes no manejo nutricional e a implementação de medidas sanitárias preventivas. Dentre estas, destaca-se a administração de vacinas estratégicas no período seco, como as vacinas contra *Clostridium spp.*, *Escherichia coli* K99, rotavírus, coronavírus, dentre outras, que visam aumentar a concentração de anticorpos no colostro e, conseqüentemente, melhorar a transferência de imunidade passiva às bezerras. Essas ações são fundamentais para a redução de perdas neonatais e o aumento da produtividade (Vieira-Neto et al., 2017).

No âmbito do melhoramento genético, embora a duração da gestação (DG) ainda não seja amplamente utilizada como critério de seleção em programas comerciais, esse parâmetro tem despertado interesse crescente, especialmente devido à sua herdabilidade moderada e à possibilidade de ser incorporada em índices genéticos complementares. Em estudos com vacas Holandesas, reduções discretas da DG – tipicamente entre 1 e 3 dias – têm sido consideradas como variações fisiológicas compatíveis com desenvolvimento fetal adequado (Norman et al., 2009; Haile-Mariam & Pryce, 2019). A seleção de indivíduos com DG ligeiramente reduzida pode, teoricamente, contribuir para a diminuição do intervalo entre partos e para o aumento do número de crias ao longo da vida produtiva, favorecendo a eficiência reprodutiva e o potencial de produção total de leite por vaca. No entanto, essas

potenciais vantagens devem ser interpretadas com cautela, uma vez que reduções mais acentuadas podem repercutir negativamente sobre o crescimento fetal e a viabilidade do neonato. Embora um encurtamento moderado – da ordem de três a cinco dias em relação à média populacional – possa ser vantajoso ao antecipar o retorno da vaca ao ciclo reprodutivo, gestações excessivamente curtas, especialmente abaixo de 275 dias, podem comprometer o desenvolvimento fetal. Esse comprometimento é particularmente crítico no que se refere à maturação dos sistemas respiratório, digestivo e imunológico, aumentando a susceptibilidade a distúrbios neonatais e elevando os índices de mortalidade (Eigenmann et al., 1984; Bittrich et al., 2004).

O comprometimento do desenvolvimento fetal, decorrente de gestações excessivamente curtas, pode repercutir de forma significativa no desempenho pós-natal das bezerras, dificultando a adaptação ao ambiente extrauterino e comprometendo o crescimento nas fases iniciais. A imaturidade fisiológica associada à gestação curta pode resultar em menor eficiência na absorção de imunoglobulinas colostrais, maior incidência de enfermidades entéricas e respiratórias, bem como atrasos no desenvolvimento. Embora práticas adequadas de manejo neonatal sejam fundamentais para a redução das taxas de morbidade e mortalidade e para a promoção de crescimento mais uniforme e eficiente, sua eficácia tende a ser limitada em animais que apresentam déficits estruturais e funcionais ao nascimento (Collard et al., 2025)

Nesse sentido, a interação entre duração gestacional adequada e a implementação de estratégias eficientes de manejo neonatal configura-se como elemento-chave para o desempenho zootécnico das bezerras, influenciando diretamente indicadores como idade ao primeiro parto, desempenho reprodutivo e produção de leite ao longo da vida produtiva. A compreensão da gestação como parte integrante e interdependente do *continuum* de manejo da fêmea leiteira possibilita uma abordagem mais abrangente e racional no aprimoramento dos índices produtivos do rebanho. Já na década de 1980, James et al. (1986) destacavam a importância de protocolos de manejo neonatal, como colostragem eficiente, alojamento higiênico e controle sanitário, como fatores determinantes para o sucesso da criação de bezerras. Entretanto, evidências mais recentes reforçam que o êxito dessas práticas pode estar condicionado à maturidade fisiológica obtida ainda no período gestacional, sendo que a redução acentuada da duração da gestação compromete a formação de sistemas

orgânicos vitais e está associada ao aumento da vulnerabilidade a enfermidades e à redução do desempenho nas fases subsequentes da vida produtiva (Dahl et al., 2016; Vieira-Neto et al., 2017; Ling et al., 2018).

Embora a herdabilidade da duração da gestação seja considerada de baixa a moderada (Haile-Mariam & Pryce, 2019), o que limita a contribuição genética direta da vaca sobre esse parâmetro, é fundamental reconhecer que a matriz desempenha papel determinante por meio de fatores extrínsecos, fisiológicos e relacionados ao manejo. Condições como escore de condição corporal inadequado, alterações endócrinas, distúrbios metabólicos no final da gestação e inflamações subclínicas podem interferir no tempo necessário para a maturação fetal e, conseqüentemente, no momento do parto (LeBlanc, 2010; Santos et al., 2019).

Adicionalmente, estresse térmico durante a gestação tem sido consistentemente associado a prejuízos no desenvolvimento fetal e no desempenho posterior da progênie (Ahmed et al., 2021). Evidências indicam que a exposição intrauterina a condições ambientais adversas, especialmente ao calor excessivo, compromete a imunidade neonatal, risco de morbidade e mortalidade, o crescimento corporal, o desenvolvimento mamário e o desempenho reprodutivo e produtivo das fêmeas na vida adulta (Ahmed et al., 2021).

Diante da crescente demanda por sistemas de produção mais eficientes e tecnicamente sustentáveis, torna-se imprescindível compreender os fatores que influenciam o desempenho zootécnico dos bovinos leiteiros desde os estágios iniciais do seu desenvolvimento. Embora os avanços em programas de melhoramento genético tenham proporcionado ganhos relevantes na seleção de parâmetros produtivos e reprodutivos, variáveis fisiológicas como a duração da gestação e suas repercussões sobre a viabilidade e a funcionalidade neonatal têm emergido como elementos de interesse crescente na literatura científica. A duração gestacional, ao modular a maturação anatômica e funcional do feto, influencia diretamente a capacidade da bezerra neonatal em responder de forma adequada às intervenções nas primeiras horas de vida, especialmente no que se refere à absorção de imunoglobulinas colostrais, à adaptação metabólica e à resistência frente a agentes patogênicos ambientais (Collard et al., 2025). Assim, a adequada interação entre os determinantes genéticos, a fisiologia gestacional e as estratégias de manejo perinatal – como a colostragem eficiente, a manutenção de ambientes

higienicamente controlados e o suporte nutricional precoce – constitui um eixo fundamental para o êxito na criação de fêmeas de reposição, com reflexos diretos sobre indicadores como idade ao primeiro parto, longevidade produtiva e desempenho reprodutivo (Ahmed et al., 2021).

2.1 FATORES GENÉTICOS INFLUENCIANDO NA DURAÇÃO DA GESTAÇÃO

A duração da gestação (DG) em bovinos é um parâmetro complexo e multifatorial, cuja variação é determinada tanto por componentes genéticos quanto por fatores ambientais. Dentre os elementos genéticos, destaca-se a contribuição paterna, uma vez que o touro fornece metade do genoma do feto. Evidências demonstram que os parâmetros genéticos herdados do pai exercem influência direta sobre o desenvolvimento fetal e sobre o controle fisiológico do parto, afetando, portanto, a duração da gestação (Norman et al., 2009).

A partir da década de 1990, o avanço dos sistemas de registro zootécnico e das metodologias de avaliação genética permitiu incluir a duração da gestação (DG) entre as características analisadas em programas de melhoramento. Esse progresso viabilizou a geração de valores de Predicted Transmitting Ability (PTA) específicos para a DG, conforme descrito por McClintock (2004). O PTA, que expressa o valor genético aditivo de um indivíduo como o desvio esperado em sua progênie em relação à média populacional, constitui ferramenta central nas decisões de acasalamento e é amplamente aplicado em características economicamente relevantes, como produção de leite, fertilidade, longevidade produtiva e resistência a enfermidades (Haile-Mariam & Pryce, 2019).

No contexto da DG, touros com PTA negativo vêm sendo preferencialmente utilizados com o intuito de encurtar o tempo gestacional médio, enquanto aqueles com PTA positivo podem ser empregados quando se deseja prolongar a gestação, conforme os objetivos específicos de cada sistema de produção. A existência de variação genética significativa entre os valores de PTA para DG tem possibilitado a aplicação dessa informação em acasalamentos dirigidos, sobretudo em vacas com histórico reprodutivo comprometido, visando à melhoria dos índices produtivos e à redução da incidência de distocias.

Embora a DG contribua para a modulação do intervalo entre partos, não exerce influência direta sobre o período de serviço – definido como o intervalo entre o parto e a nova concepção. Este último é amplamente condicionado por fatores de

manejo nutricional, sanitário e reprodutivo (Plasse et al., 1968), razão pela qual a seleção para DG deve ser encarada como ferramenta complementar, e não substitutiva, às boas práticas de manejo.

Estudos conduzidos com a raça Holandesa indicam que a duração da gestação apresenta herdabilidade moderada, com estimativas geralmente situadas entre 0,20 e 0,40, o que reforça seu potencial de inclusão em programas de melhoramento genético (Norman et al., 2009). Cabe destacar que, em avaliações genéticas dessa característica, os valores genéticos estimados (EBVs) podem ser obtidos a partir de duas fontes distintas: de touros, de forma indireta, com base na duração da gestação de suas filhas, refletindo predominantemente o componente genético fetal; e em vacas, de forma direta, a partir de seus próprios registros reprodutivos, representando o componente genético materno, associado ao ambiente uterino, à capacidade de suporte fetal e à fisiologia endócrina da fêmea.

Nesse contexto, Norman et al. (2009) avaliaram a consistência genética da duração da gestação entre diferentes categorias de fêmeas (vacas e novilhas) e observaram correlações entre os valores genéticos estimados a partir de registros de novilhas e de vacas de $-0,24$ e $-0,02$, respectivamente. Embora distintas em magnitude, essas estimativas indicam que a expressão genética da duração da gestação é relativamente consistente entre categorias etárias distintas.

Em análise complementar, Haile-Mariam e Pryce (2019) relataram, na Austrália, declínio progressivo nos valores genéticos para duração da gestação de touros da raça Holandesa após a inclusão da avaliação genética para fertilidade nos programas de seleção, implementada a partir de 2003, com intensificação desse efeito a partir de 2005. Esses autores demonstraram que, embora a duração da gestação não tenha sido um critério de seleção direta, a incorporação de características reprodutivas nos índices de seleção promoveu uma resposta correlacionada, resultando na redução gradual dos valores genéticos para DG. A magnitude dessa resposta, entretanto, foi menor nas fêmeas, sugerindo diferenças entre os sexos quanto à sensibilidade à seleção, possivelmente relacionadas à distinta contribuição dos componentes genéticos fetal e materno da característica. Apesar dos benefícios potenciais associados à redução da duração da gestação, é necessária cautela, uma vez que o encurtamento excessivo do período gestacional pode comprometer a maturação fisiológica do feto, afetando negativamente a produção e a qualidade do colostro, bem como a eficiência da

transferência de imunidade passiva, aspectos críticos para a sobrevivência e o desempenho dos neonatos (Van Saun, 1996; Swali & Wathes, 2006).

Diante disso, o uso de informações genéticas para DG deve ser conduzido de forma estratégica, buscando o equilíbrio entre ganhos zootécnicos e a preservação da saúde materno-fetal. Tal abordagem é coerente com os princípios da seleção equilibrada, que preconiza a incorporação de múltiplos critérios genéticos e produtivos de forma integrada, promovendo sistemas de produção mais sustentáveis e resilientes.

2.2 HERDABILIDADE DA DURAÇÃO DA GESTAÇÃO

A duração da gestação (DG) em bovinos configura-se como um parâmetro quantitativo de moderada complexidade, uma vez que é influenciada por fatores genéticos diretos e maternos, bem como por variáveis ambientais. Seu potencial para ser incluída em programas de melhoramento genético tem sido amplamente discutido, sobretudo devido à existência de variabilidade genética aditiva suficiente para promover resposta à seleção (Winkelman & Spelman, 2001; Hansen et al., 2004; McClintock, 2004; Norman et al., 2009; Eaglen et al., 2013).

Estudos conduzidos com bovinos da raça Holandesa indicam que a herdabilidade direta da DG (h^2) situa-se entre 0,30 e 0,50, valores considerados de moderada a alta magnitude, o que confere à característica um potencial expressivo de resposta à seleção quando aplicada ao componente fetal (Nadarajah et al., 1989; McGuirk et al., 1999; Norman et al., 2009). Por outro lado, o componente materno apresenta herdabilidade reduzida, com valores entre 0,05 e 0,10, refletindo contribuição genética relativamente pequena da vaca para a variação da DG. Esse padrão restringe o potencial de resposta à seleção a partir das fêmeas, especialmente quando comparado ao componente fetal (Haile-Mariam et al., 2019; Philipsson, 1976).

Cabe destacar que algumas estimativas iniciais de herdabilidade direta podem ter sido inflacionadas pela omissão dos efeitos maternos nos modelos estatísticos, como advertido por Manfredi et al. (1991). Quando os efeitos genéticos maternos foram devidamente incluídos nas análises, observou-se que a variância atribuída ao touro foi reduzida, com herdabilidades maternas situadas entre 0,06 e 0,18 (Philipsson, 1976; Nadarajah et al., 1989), refletindo com maior precisão a contribuição genética de cada componente.

A predominância do componente genético paterno tem sido reforçada por evidências experimentais. Hansen et al. (2004), ao avaliarem dados de inseminações artificiais em vacas Holandesas, constataram herdabilidades de 33 a 36 % para os touros utilizados e apenas 7 a 12 % para os avôs maternos. Tais achados corroboram a hipótese de que a DG é, em grande parte, determinada pelo genótipo fetal – e não prioritariamente pela vaca gestante, uma vez que o feto desempenha papel ativo na sinalização do parto e no controle do crescimento intrauterino (Meyer, Berger & Koehler, 2000).

Esse padrão foi confirmado por King, Seidel e Elsdén (1985), que, por meio de protocolos de transferência de embriões interespecíficos, demonstraram que a raça do feto exerce influência mais relevante sobre a DG do que a raça da vaca receptora. Esses achados sugerem que o componente genético direto, expresso pelo feto, exerce contribuição mais pronunciada para a variação da DG do que o componente materno, em concordância com as evidências obtidas em modelos de transferência de embriões.

Com base em dados genômicos, Norman et al. (2009) relataram estimativas de herdabilidade da DG em torno de 0,40 quando calculadas com base no touro utilizado na inseminação, e de aproximadamente 0,10 quando associadas ao pai da vaca. Essa discrepância reforça a preponderância da influência fetal e sugere que a seleção de reprodutores com PTA favorável para DG pode ser uma abordagem eficiente para modulação desse parâmetro.

Entretanto, convém enfatizar que os possíveis benefícios zootécnicos decorrentes da modificação da DG devem ser analisados de forma integrada com outros aspectos reprodutivos e produtivos. Norman et al. (2009) destacam que não há evidência conclusiva de que o encurtamento ou prolongamento da gestação, por si só, resulte em vantagens consistentes para a vaca ou para o neonato, especialmente em sistemas intensivos. Alterações na DG podem influenciar o peso ao nascimento, a incidência de distocia e a viabilidade neonatal, reforçando a necessidade de uma abordagem equilibrada no processo seletivo.

Portanto, ainda que a DG reúna atributos genéticos que a qualificam para inclusão em programas de melhoramento, sua adoção como critério de seleção deve ser conduzida com cautela. A seleção para esse parâmetro deve estar alinhada a

objetivos reprodutivos mais amplos, contemplando parâmetros como facilidade de parto, sobrevivência da progênie e eficiência alimentar, assegurando, assim, a sustentabilidade e a resiliência dos sistemas de produção.

2.3 EFEITOS DO ESTRESSE POR CALOR SOBRE A DURAÇÃO DA GESTAÇÃO EM VACAS LEITEIRAS

A exposição de vacas leiteiras ao estresse por calor durante a gestação, especialmente nos períodos iniciais e finais, tem sido associada a diversos prejuízos fisiológicos com efeitos persistentes sobre o desempenho reprodutivo e produtivo tanto da vaca, quanto da progênie (Casarotto et al, 2025).

A fase de vaca seca, que em sua grande maioria corresponde ao terço final da gestação – a menos que a vaca tenha sido seca por motivos sanitários, reprodutivos ou de manejo – constitui um período fisiologicamente crítico, no qual ocorre a regeneração de tecido mamário, ajustes metabólicos e preparação para a lactação subsequente. Apesar de sua importância, essa etapa muitas vezes recebe atenção limitada nas propriedades leiteiras, principalmente devido à percepção reduzida dos produtores sobre a relevância do manejo neste período para a saúde materna e o desenvolvimento fetal.

Conforme revisado por Tao e Dahl (2013), o estresse por calor no terço final da gestação compromete o desenvolvimento do tecido mamário da vaca, reduzindo a atividade proliferativa e a diferenciação celular, o que resulta em menor capacidade secretora e menor produção de leite na lactação subsequente. Além disso, os autores destacam que a exposição ao calor prejudica o desenvolvimento placentário, induz hipóxia fetal e altera o equilíbrio hormonal materno, fatores que, em conjunto, contribuem para o nascimento de bezerras com menor peso e menor competência imunológica.

Estudos recentes demonstram que o estresse térmico durante o terço final da gestação provoca alterações estruturais e funcionais na placenta, incluindo espessamento da parede cotiledonar e redução da vascularização, o que compromete o transporte de nutrientes e oxigênio para o feto (Alhina et al., 2024). Tais modificações placentárias podem resultar em restrição do crescimento fetal, refletida em menor peso ao nascimento e possível redução da viabilidade neonatal,

evidenciando um mecanismo fisiológico pelo qual o estresse por calor materno impacta diretamente a progênie. Além disso, alterações epigenéticas em genes relacionados ao metabolismo e à angiogênese placentária têm sido relatadas, sugerindo efeitos persistentes sobre a saúde e o desenvolvimento das bezerras oriundas de gestações sob estresse térmico, o que reforça a importância do manejo térmico adequado durante a fase de vaca seca.

Estudos experimentais corroboram esses achados. Monteiro et al. (2016) demonstraram que vacas expostas a estresse por calor nas últimas seis semanas de gestação originaram bezerras com menor peso ao nascimento, crescimento reduzido até o desaleitamento e atrofia de órgãos imunológicos e metabólicos, como timo, baço, rins e fígado. Ahmed et al. (2021) acrescentaram que a exposição ao calor intrauterino compromete a integridade intestinal das bezerras, dificultando a absorção de imunoglobulinas e prejudicando a transferência de imunidade passiva. Posteriormente, Monteiro et al. (2016) evidenciaram consequências prolongadas desses efeitos, incluindo menor taxa de sobrevivência até a primeira lactação, maior número de serviços por concepção e redução significativa na produção de leite, da ordem de 5 kg por dia. Esses resultados indicam que condições de calor gestacional não apenas comprometem o desenvolvimento fetal, mas também afetam a longevidade e a eficiência produtiva das futuras matrizes leiteiras.

De forma complementar, Collard et al. (2024) demonstraram que o estresse por calor no início da gestação também pode impactar negativamente o desenvolvimento fetal. Sob condições climáticas moderadas da França, foi observada redução do peso ao nascimento, prejuízos no crescimento pós-natal e alterações no desenvolvimento do parênquima mamário e do tecido ovariano. Ainda que os efeitos sobre a produção de leite tenham sido discretos naquele contexto, os autores alertam que, em ambientes tropicais, como o Brasil, os impactos tendem a ser mais acentuados, dada a maior frequência e intensidade de ondas de calor.

Além dos efeitos diretos sobre o crescimento e a saúde neonatal, o estresse térmico no período gestacional pode influenciar a própria duração da gestação. Evidências sugerem que concepções no outono, culminando em partos no verão, expõem o feto a condições ambientais adversas no terço final da gestação – período crítico para a maturação de órgãos vitais. Evidências indicam que concepções no outono, resultando em partos no verão, expõem o feto a condições ambientais

adversas no terço final da gestação, período crítico para a maturação de sistemas fisiológicos essenciais. Em situações de estresse por calor, tem sido descrita a antecipação do parto e a conseqüente redução da duração gestacional, possivelmente mediadas por alterações endócrinas e inflamatórias envolvidas nos mecanismos de sinalização do parto (Tao & Dahl, 2013; Monteiro et al., 2016).

Diante dessas evidências, torna-se imprescindível a adoção de estratégias eficazes de resfriamento para vacas gestantes ao longo de toda a gestação, com ênfase nos períodos de maior vulnerabilidade fetal. Em sistemas produtivos localizados em regiões tropicais, essa prática é especialmente relevante, visto que a carga térmica ambiental impõe desafios adicionais à manutenção da homeostase materna e ao adequado desenvolvimento da progênie.

Diversos estudos com vacas da raça Holandesa indicam que a exposição ao estresse por calor no terço final da gestação está associada à antecipação do parto, resultando em redução significativa da duração gestacional. Dobos et al. (2020) observaram que vacas secas submetidas a ambientes com elevada carga térmica nas últimas seis semanas de gestação tiveram a gestação encurtada em média seis dias, em comparação com vacas mantidas sob resfriamento contínuo. Esse efeito ocorreu mesmo em animais com ingestão alimentar adequada, sugerindo que os mecanismos responsáveis são fisiológicos e independentes da nutrição, incluindo aumento da expressão de proteínas de choque térmico (HSP70), alterações no metabolismo energético e distúrbios endócrinos que podem precipitar a sinalização do parto. Tais alterações também foram associadas à redução no peso ao nascimento dos bezerros e menor volume de colostro, comprometendo a transferência de imunidade passiva.

Complementando esse cenário, Alhinai et al. (2024) identificaram alterações estruturais e funcionais na placenta de vacas Holandesas expostas ao estresse por calor no final da gestação, incluindo espessamento da parede cotiledonar, redução da vascularização e modificações epigenéticas em genes relacionados ao transporte de nutrientes e à angiogênese. Tais alterações indicam comprometimento da eficiência da troca materno-fetal e restrição progressiva do ambiente intrauterino, fatores que podem contribuir para a antecipação do parto como mecanismo compensatório para evitar danos fetais mais graves. Mesmo uma redução de poucos dias na duração da gestação pode interromper processos finais de maturação de órgãos vitais, como pulmões e sistema imunológico, impactando negativamente a viabilidade neonatal.

Dessa forma, o estresse por calor deve ser considerado não apenas como um fator de risco para a produtividade futura, mas também como determinante na regulação da duração gestacional.

Tao e Dahl (2013) demonstraram experimentalmente que vacas Holandesas privadas de estratégias de resfriamento nas seis semanas finais de gestação apresentaram reduções significativas na DG, entre 3 e 4 dias, em comparação àquelas submetidas a técnicas de mitigação térmica, como ventilação forçada e nebulização. Os mecanismos fisiológicos envolvidos nesse processo foram elucidados em diversos estudos (Norman et al., 2009; Tao & Dahl, 2013; Jenkins, 2016; Vieira-Neto et al., 2017). O estresse térmico materno eleva a temperatura corporal e ativa precocemente o eixo hipotálamo–hipófise–adrenal (HHA) fetal. Essa ativação leva à liberação antecipada de cortisol pelo feto, o qual estimula a síntese de prostaglandinas e estrogênios, desencadeando o início prematuro do trabalho de parto. A Figura 1 apresenta um fluxograma adaptado de Tao & Dahl (2013), que resume esse mecanismo fisiopatológico. O estresse térmico, ao induzir alterações endócrinas precoces, contribui para o encurtamento da gestação e está associado a desfechos negativos, como desenvolvimento fetal incompleto, baixo peso ao nascer e aumento da taxa de mortalidade neonatal.

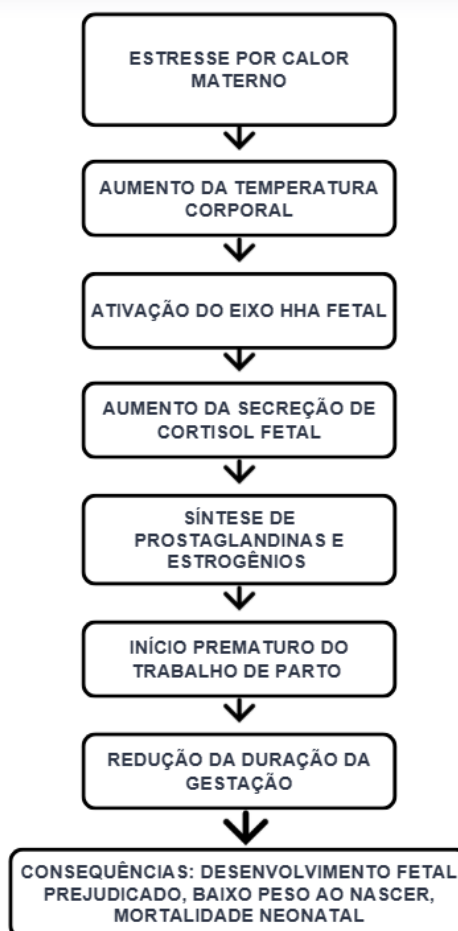


Figura 1: Fluxograma do mecanismo fisiopatológico do parto em vacas submetidas ao estresse por calor. Fonte: Adaptado de Tao e Dahl (2013); Norman et al. (2009); Jenkins (2016); Vieira-Neto et al. (2017).

2.4 EFEITOS SAZONAIS SOBRE A DURAÇÃO DA GESTAÇÃO EM BOVINOS LEITEIROS

A estação do ano exerce influência significativa sobre a duração da gestação (DG) em bovinos, especialmente em regiões de clima tropical e subtropical, nas quais as oscilações térmicas e ambientais entre estações são acentuadas. Essas variações impactam diretamente a fisiologia materna, principalmente por meio da exposição diferenciada ao estresse térmico, fator já consolidado como determinante da duração gestacional (McGuirk et al., 1998; Tao e Dahl, 2013).

Estudos clássicos demonstraram que o mês de concepção e, conseqüentemente, a estação em que ocorre o terço final da gestação, influenciam a DG. Andersen e Plum (1965), ao avaliarem dados de vacas das raças Holandesa,

Jersey e Pardo-Suíça, observaram que concepções realizadas no outono – que resultam em partos no verão – estavam associadas a gestações significativamente mais curtas, com reduções entre 1,3 e 2,6 dias, dependendo da raça. Resultados semelhantes foram obtidos por McGuirk et al. (1998), que identificaram encurtamento gestacional em vacas que pariram durante os meses mais quentes do ano.

Além da redução da DG, gestações que se encerram no verão estão associadas a maior risco de complicações neonatais em função da maturação fetal incompleta, decorrente da antecipação do parto, além de menor eficiência placentária em ambientes termicamente desafiadores (Norman et al., 2009; Jenkins, 2016). McGuirk et al. (1999) destacaram que vacas que pariram no inverno apresentaram bezerros mais pesados e maior incidência de distocia, enquanto partos no verão resultaram em menor peso ao nascimento, porém maior viabilidade neonatal.

É importante notar que o efeito da estação pode ser modulado por medidas de manejo, como o uso de ventilação e nebulização no verão ou ajustes nutricionais no inverno. Tao e Dahl (2013) demonstraram que vacas submetidas a resfriamento evaporativo durante o verão tiveram DG semelhante àquelas mantidas sob temperaturas mais frias, sugerindo que os efeitos adversos da estação podem ser atenuados por estratégias ambientais adequadas. Nesse contexto, a estação do ano atua como um modulador indireto da DG, especialmente por seu impacto sobre a carga térmica enfrentada pela vaca no final da gestação. A incorporação desse fator nas estratégias de manejo reprodutivo e pré-parto é fundamental para mitigar riscos de distúrbios neonatais e otimizar a eficiência produtiva dos rebanhos.

2.5 INFLUÊNCIA DA NUTRIÇÃO MATERNA NA DURAÇÃO DA GESTAÇÃO E NO DESENVOLVIMENTO FETAL

O terço final da gestação em vacas leiteiras é marcado por intensa taxa de crescimento fetal, responsável por mais de 60% do ganho de massa corporal do feto. Estima-se que a taxa de deposição ultrapasse 0,35 kg/dia por volta do 230º dia de gestação (Ferrell et al., 1976; Prior & Laster, 1979). Esse período coincide com a fase seca, destinada à interrupção da lactação para favorecer a regeneração do tecido mamário e a preparação metabólica para a lactação subsequente (Grummer & Rastani, 2004). A interpretação inadequada dessa fase como um período de repouso tem resultado em condutas nutricionais insuficientes, com repercussões negativas

para a vaca e o feto. O padrão de crescimento fetal ao longo da gestação em bovinos está ilustrado na Figura 2.

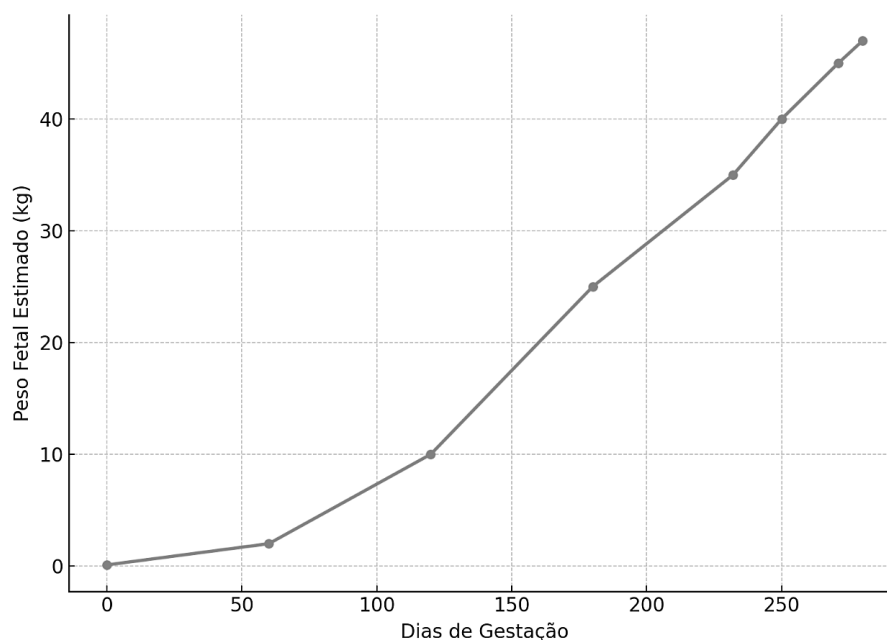


Figura 2: Crescimento fetal bovino estimado (em kg) de acordo com os dias de gestação. Adaptada de Ferrell, Garrett, Hinman (1976).

A literatura científica demonstra que o manejo nutricional no período seco influencia não apenas o desempenho produtivo e reprodutivo na lactação seguinte, mas também a qualidade do colostro, a saúde materna, o crescimento fetal e a sobrevivência neonatal (Van Saun, 1996; Drackley, 1999). As exigências nutricionais da vaca seca compreendem manutenção, desenvolvimento fetal, reposição de reservas corporais e adaptação metabólica, além do aumento das necessidades energéticas em situações de estresse calórico.

Diversos estudos investigaram a relação entre nutrição materna e crescimento fetal em bovinos. Trabalhos clássicos demonstraram que dietas próximas às exigências de manutenção não comprometeram o peso ao nascimento (Campbell et al., 1953; Rattray et al., 1975; Prior, 1979). Entretanto, restrições nutricionais severas – mesmo que transitórias – resultaram em fetos menores, com comprometimento estrutural e funcional (Hight, 1966). A composição da dieta também se mostra determinante, sobretudo no que se refere ao teor proteico. Modelos experimentais em roedores revelaram que dietas deficientes em proteína reduzem o crescimento placentário e fetal (Winick, 1971; Zamenhof & Holzman, 1973; Sara et al., 1974). Em

bovinos, Prior (1979) evidenciou a interdependência entre o crescimento fetal e o desenvolvimento das membranas fetais, destacando a importância da integridade placentária na resposta do feto à nutrição materna.

O crescimento fetal em bovinos segue um padrão sigmoide e exponencial, com mais de 60% da massa corporal do feto sendo adquirida nos dois últimos meses de gestação (Ferrell et al., 1976; Prior & Laster, 1979). Nesse período, a taxa de deposição fetal pode alcançar 0,35 kg/dia por volta do 232º dia de gestação. Essa intensa demanda metabólica torna o fornecimento de energia e nutrientes especialmente crítico.

O crescimento fetal em bovinos apresenta padrão sigmoide, com acentuada aceleração nos dois últimos meses de gestação, quando mais de 60% da massa corporal é adquirida (Ferrell et al., 1976; Prior & Laster, 1979). Nesse intervalo, a intensa demanda metabólica torna o fornecimento de energia e nutrientes particularmente crítico. Há evidências de que dietas formuladas próximas às exigências de manutenção sustentam o crescimento fetal em vacas adultas; contudo, restrições nutricionais acentuadas comprometem o peso ao nascimento e a funcionalidade de órgãos vitais (Hight, 1966; Ferrell et al., 1991). Adicionalmente, o tamanho corporal da vaca pode impor limites físicos ao desenvolvimento fetal avançado. Entre os dias 232 e 271 da gestação, há indicativos de que o crescimento fetal pode ser restringido por limitações intrauterinas de espaço, sobretudo em vacas de menor porte (Ferrell et al., 1991).

Além da limitação física, desafios nutricionais maternos induzem adaptações fisiológicas placentárias. Em ovinos, a subnutrição precoce afetou vias de sinalização relacionadas à angiogênese, ao transporte de nutrientes e ao remodelamento tecidual, com efeitos sobre a eficiência placentária (Edwards et al., 2020). Em bovinos, a subnutrição no início da gestação reduziu a vascularização placentária e a expressão de fatores angiogênicos, resultando em menor número de vasos por placentoma (Vonnahme et al., 2007).

O crescimento fetal progressivo promove distensão uterina e ativa o eixo hipotálamo–hipófise–adrenal, culminando na liberação de cortisol pelas adrenais fetais. O aumento do cortisol estimula a síntese de prostaglandinas e estrogênios maternos, alterando o equilíbrio hormonal da gestação e desencadeando o trabalho

de parto (Barth et al., 2016). Em condições de nutrição inadequada, essa ativação pode ocorrer de forma antecipada, resultando em partos prematuros e em bezerros com imaturidade fisiológica.

A Figura 3 resume, em forma de fluxograma, o mecanismo fisiológico descrito, destacando a importância do feto como sinalizador primário do término gestacional.

Nesse contexto, é importante destacar que o feto exerce papel central na sinalização do parto. À medida que seu crescimento se intensifica e o ambiente uterino se torna mais restrito, há ativação do eixo hipotálamo–hipófise–adrenal fetal. Essa ativação culmina na liberação de hormônio adrenocorticotrófico (ACTH) pela adeno-hipófise, estimulando a produção de cortisol pelas adrenais fetais. O aumento na concentração de cortisol fetal promove mudanças hormonais na mãe – incluindo a conversão de progesterona em estrogênios e o aumento da síntese de prostaglandinas, que desencadeiam o trabalho de parto (Barth et al., 2016).

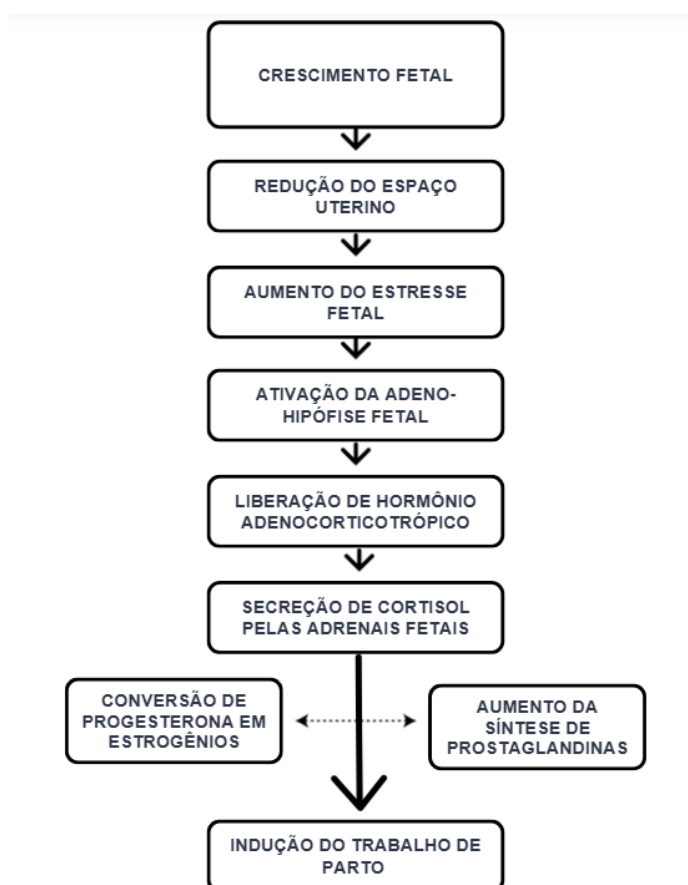


Figura 3: Mecanismo endócrino pelo qual o crescimento fetal bovino induz o início do parto (Adaptado de Barth et al., 2016).

Práticas nutricionais inadequadas durante o terço final da gestação podem interferir diretamente nesse mecanismo endócrino-fetal, antecipando o parto ou comprometendo a maturidade neonatal. A atenção ao manejo nutricional de vacas secas, com formulação balanceada em energia e proteína, representa uma estratégia essencial não apenas para a saúde e produtividade materna, mas também para a regulação fisiológica da duração da gestação e da viabilidade do recém-nascido.

2.6 EFEITOS DO TIPO DE PARTO SOBRE A DURAÇÃO DA GESTAÇÃO E A VIABILIDADE NEONATAL

O parto em bovinos é um evento fisiológico complexo, regulado por alterações endócrinas intrincadas, sobretudo pelo aumento das concentrações de glicocorticoides fetais em resposta à ativação do eixo hipotálamo-hipófise-adrenal fetal (Matthews & Challis, 1996). Fatores como sexo fetal, ordem de parto e estação do nascimento têm sido associados a variações significativas na duração da gestação (DG).

Partos antecipados podem comprometer a maturação funcional de sistemas críticos no bezerro, como os sistemas respiratório, digestivo e imunológico, elevando os riscos de morbidade e mortalidade neonatal. A maturação pulmonar, por exemplo, ocorre nos últimos dias de gestação e é marcada pelo aumento na produção de surfactante, essencial para a expansão alveolar adequada (Rooney, 1985). Bezerros nascidos antes de 270 dias apresentam risco aumentado de desenvolver síndrome do desconforto respiratório, com possível evolução para hipóxia, acidose e natimortalidade (Eigenmann et al., 1984).

Além disso, o trato gastrointestinal de bezerros prematuros apresenta menor maturação funcional, reduzindo a capacidade de absorção de imunoglobulinas do colostro (Bittrich et al., 2004). Isso compromete a transferência de imunidade passiva e aumenta a suscetibilidade a infecções e distúrbios gastrointestinais no período neonatal.

Distocia é definida como parto anormalmente prolongado ou difícil, que requer intervenção humana e/ou resulta na morte do neonato (Bleul, 2011). Em bovinos, esse evento obstétrico representa uma das principais causas de perdas perinatais, estando frequentemente associado à desproporção feto-pélvica, má posição fetal ou excesso

de peso ao nascimento. O manejo inadequado da distocia pode comprometer a viabilidade do neonato em decorrência de hipóxia, traumas físicos ou falhas na adaptação fisiológica ao ambiente extrauterino.

A distocia representa um dos principais fatores associados à mortalidade perinatal em bovinos. Em um estudo populacional conduzido na Suíça, Bleul (2011) avaliou mais de dois milhões de partos e constatou uma taxa de mortalidade perinatal de 2,4%, sendo que a maioria dos casos ocorreu em animais nascidos de partos distócicos. O risco de mortalidade nesses partos foi substancialmente elevado, com razão de risco 12,2 vezes maior em comparação a partos eutócicos.

Além da dificuldade de parto, a duração da gestação também apresentou associação significativa com a mortalidade perinatal, sendo os partos extremamente precoces (≤ 270 dias) ou prolongados (≥ 295 dias) os mais frequentemente relacionados a natimortalidade. Esses achados reforçam a relevância da duração gestacional como parâmetro fisiológico de maturidade fetal, ao passo que a distocia compromete diretamente a viabilidade neonatal em decorrência de hipóxia, trauma e falhas na adaptação pós-natal. Assim, o tipo de parto e a duração da gestação constituem variáveis críticas na determinação do desfecho neonatal e devem ser consideradas em estratégias de manejo reprodutivo e seleção genética.

A relação entre a duração da gestação e o peso ao nascimento é amplamente documentada, com evidências consistentes de que incrementos no tempo gestacional se refletem em maior desenvolvimento fetal (Nogalski & Piwczyński, 2012). O aumento do peso ao nascer, por sua vez, está associado a maior probabilidade de distocia, o que reforça a necessidade de equilíbrio entre o período gestacional e a segurança do parto (Johanson & Berger, 2003). No entanto, grande parte desse conhecimento deriva de populações manejadas em ambientes temperados, o que limita sua transposição direta para sistemas tropicais. A escassez de estudos que avaliem simultaneamente fatores como ambiente de concepção, tipo de sêmen e peso ao nascimento em condições comerciais brasileiras evidencia a necessidade de investigações mais abrangentes nesse contexto.

2.7 EFEITO DA ORDEM DE PARTO SOBRE A DURAÇÃO DA GESTAÇÃO

A ordem de parto, ou paridade, é reconhecida como um fator significativo na determinação da duração da gestação (DG) em bovinos leiteiros. Essa influência decorre de mudanças fisiológicas e endócrinas que ocorrem ao longo da vida produtiva da vaca, incluindo adaptações uterinas, perfil hormonal e desenvolvimento placentário. De maneira geral, vacas primíparas apresentam gestações ligeiramente mais curtas do que vacas multíparas, padrão reportado em diferentes estudos populacionais e experimentais (Silva et al., 1992; Nadarajah et al., 1996).

Durante a primeira gestação, o útero e os tecidos de suporte ainda não passaram pelas remodelações induzidas por partos anteriores, o que pode afetar a capacidade de distensão uterina, a vascularização placentária e a interação com o feto. Essa menor “plasticidade” uterina pode influenciar a sinalização endócrina que determina o início do parto. Em contraste, vacas multíparas, especialmente a partir do segundo ou terceiro parto, já possuem tecidos mais adaptados ao processo gestacional, o que pode resultar em prolongamento discreto da DG (Norman et al., 2009; Hansen et al., 2013).

Além disso, alterações no perfil hormonal entre primíparas e multíparas contribuem para essa variação. Vacas de primeira lactação apresentam níveis circulantes de progesterona diferentes ao longo da gestação em comparação com vacas de lactações subsequentes, o que pode impactar tanto o desenvolvimento fetal quanto a cronologia dos eventos que desencadeiam o parto (Gabler et al., 2000). Essas diferenças também podem estar relacionadas à eficiência placentária e à taxa de crescimento fetal, aspectos intimamente ligados à duração gestacional.

Estudos em grandes bancos de dados, como o de Meyer et al. (2001), envolvendo mais de 2 milhões de registros, demonstraram aumento progressivo da DG com a ordem de parto, com diferenças médias próximas de um dia entre primíparas e vacas em lactações subsequentes. Embora pequenas em magnitude, essas diferenças refletem alterações fisiológicas associadas ao desenvolvimento corporal, ao tamanho pélvico e à capacidade uteroplacentária ao longo da vida produtiva, resultando em impacto operacional sobre a acurácia da previsão da data de parto. Outros autores também observaram associação significativa entre paridade e DG. Nogalski e Piwczyński (2012) relataram que, além do prolongamento da gestação, vacas pluríparas tendem a gerar bezerros com maior peso ao nascimento, o que pode aumentar o risco de distocia e comprometer a viabilidade neonatal. Isso

reforça a necessidade de considerar a paridade no planejamento do manejo gestacional, especialmente em sistemas intensivos de produção.

Em estudo conduzido por Dengler et al. (2025), realizado exclusivamente com vacas multíparas no terço final da gestação, foram observadas alterações metabólicas e placentárias associadas ao estresse térmico. A escolha de animais pluríparos elimina a variabilidade fisiológica inerente à primiparidade, como menor capacidade uterina e menor eficiência de adaptação metabólica. Em contrapartida, algumas investigações sugerem que a magnitude da influência da paridade pode ser modulada por outros fatores, como o tipo de sêmen utilizado (convencional ou sexado), condições ambientais, genética do touro e o manejo nutricional da vaca gestante. Em estudo conduzido no Brasil, Silva et al. (2020) observaram que o efeito da paridade sobre a DG foi mais pronunciado em vacas inseminadas com sêmen convencional em comparação ao sexado, possivelmente devido a diferenças no sexo do feto ou na dinâmica embrionária inicial.

Por fim, é importante considerar que a paridade está intrinsecamente associada à idade da vaca, fator que, por si só, pode influenciar de maneira distinta o ambiente uterino, a resposta imunológica e a adaptação metabólica à gestação. Em fêmeas jovens, ainda em desenvolvimento, limitações anatômicas e fisiológicas – como menor capacidade uterina e menor eficiência placentária – tendem a reduzir a duração gestacional. Em contrapartida, vacas adultas, entre a terceira e a quinta parição, geralmente apresentam maior estabilidade metabólica e melhor desenvolvimento uterino, favorecendo gestações ligeiramente mais longas. Em idades mais avançadas, entretanto, alterações teciduais e declínio funcional podem novamente reduzir a capacidade de sustentar gestações mais prolongadas (Ahmed et al., 2016).

2.8 INTERAÇÃO ENTRE FATORES AMBIENTAIS E GENÉTICOS NA DURAÇÃO DA GESTAÇÃO

A interação entre fatores genéticos e ambientais desempenha papel central na determinação da duração da gestação (DG) em bovinos. Embora a contribuição genética, sobretudo paterna, esteja bem documentada, aspectos ambientais como nutrição, estresse por calor e condições de manejo no período seco exercem influência considerável sobre os mecanismos fisiológicos que regulam o parto.

Tradicionalmente, vacas secas gestantes não recebem medidas específicas de proteção contra o estresse térmico, sob a equivocada premissa de que a ausência de lactação as torna menos suscetíveis. No entanto, o período seco, que compreende cerca de 60 dias, envolve mudanças fisiológicas, nutricionais e endócrinas importantes, como involução e regeneração da glândula mamária, crescimento fetal acelerado e preparação metabólica para a lactação (Drackley, 1999; Grummer e Rastani, 2004). Tais transformações aumentam a vulnerabilidade das vacas aos efeitos adversos do calor, que podem comprometer a produção leiteira subsequente, o desempenho reprodutivo e o desenvolvimento fetal (Tao e Dahl, 2013).

O estresse térmico materno, sobretudo no terço final da gestação, pode antecipar o parto em decorrência da ativação precoce do eixo hipotálamo-hipófise-adrenal fetal, resultando na elevação do cortisol e na indução da cascata endócrina que culmina na expulsão fetal (Norman et al., 2009). Estudos indicam que vacas submetidas a altas temperaturas no final da gestação pariram, em média, 1,5 a 4 dias mais cedo do que aquelas expostas a condições termicamente favoráveis, caracterizadas por temperaturas mais confortáveis ao bem-estar materno-fetal. (Tao e Dahl, 2013). Além disso, o estresse por calor reduz os níveis de hormônios como tiroxina, prolactina e estrogênios placentários, prejudicando a preparação da glândula mamária e o crescimento fetal (Collier et al., 1980; Avendaño-Reyes et al., 2006).

Fatores como o peso ao nascimento do bezerro também influenciam a DG. Bezerros mais pesados tendem a estar associados a gestações mais longas (Nadarajah et al., 1989; Nogalski e Piwczyński, 2012), embora o excesso de peso fetal aumente o risco de distocia e natimortalidade (Johanson e Berger, 2003). Por outro lado, gestações excessivamente curtas também elevam a mortalidade neonatal, como demonstrado por Nogalski e Piwczyński (2012), que observaram menores taxas de natimortalidade em vacas com DG entre 275 e 277 dias, enquanto valores superiores a 283 dias triplicaram essa taxa.

A produtividade leiteira está correlacionada à DG, sendo que vacas de maior produção tendem a apresentar gestações ligeiramente mais longas (Hageman, Shook e Tyler, 1991). Tal fenômeno pode estar relacionado à seleção genética para maior desempenho produtivo ao longo das últimas décadas, conforme sugerido por Silva et al. (1992). Ainda segundo Norman, Wright e Miller (2011), vacas oriundas de

gestações de duração intermediária (274–279 dias) apresentaram melhores índices zootécnicos ao longo da vida.

A influência da raça sobre a DG também é reconhecida. Vacas da raça Pardo-Suíça apresentam gestação, em média, 10 dias mais longa que vacas Holandesas (Andersen e Plum, 1965). Já a raça Jersey possui DG ligeiramente inferior à da Holandesa (Silva et al., 1992). Além disso, fêmeas Pardo-Suíças demonstram menor incidência de distocia em primíparas (Cole et al., 2005).

Gestação múltipla representa outro fator importante: gestações gemelares ou trigemelares são consistentemente mais curtas que gestações únicas. Echternkamp et al. (2007) identificaram redução de até 12,7 dias em gestações trigemelares. Resultados similares foram registrados por Azzam e Nielsen (1987) em bovinos de corte.

A idade materna e a paridade também exercem influência significativa sobre a DG. Vacas mais jovens, ainda em crescimento, tendem a apresentar gestações mais curtas do que fêmeas adultas (Silva et al., 1992). Norman et al. (2009) observaram padrão quadrático entre a ordem de parto e a DG, com maior duração em vacas de terceira a quinta lactação, seguida de discreta redução em fêmeas mais velhas. Entre as possíveis explicações fisiológicas, incluem-se a menor capacidade uterina, a menor área de superfície para implantação placentária e a vascularização uteroplacentária ainda em desenvolvimento em primíparas, além de limitações pélvicas que podem restringir o crescimento fetal nos estágios finais da gestação (Mee, 2008; De Amicis et al., 2018).

Por fim, a antecipação do parto pode comprometer a maturação de sistemas essenciais à sobrevivência neonatal, como o respiratório e o digestivo. Bezerros nascidos antes do termo apresentam maior risco de síndrome do desconforto respiratório e falhas na absorção de imunoglobulinas do colostro, aumentando a morbidade e mortalidade no período neonatal (Eigenmann et al., 1984; Bittrich et al., 2004).

Dessa forma, torna-se evidente que a duração da gestação é um parâmetro multifatorial, determinada por um complexo equilíbrio entre fatores genéticos e ambientais. A compreensão dessa interação é essencial para a formulação de

estratégias de manejo e seleção que promovam a saúde materno-fetal, a eficiência reprodutiva e o desempenho zootécnico em sistemas de produção leiteira intensiva.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 ORIGEM DOS DADOS

As análises estatísticas tiveram como objetivo identificar os fatores associados à duração da gestação (DG) em novilhas e vacas da raça Holandesa, considerando tanto a variabilidade entre fazendas quanto os efeitos de fatores ambientais e reprodutivos. Para isso, foram aplicados modelos lineares mistos, apropriados para dados observacionais hierarquizados, nos quais a estrutura de dependência entre observações dentro de cada fazenda foi explicitamente modelada. A fazenda foi incluída como efeito aleatório, permitindo controlar a variabilidade não observada entre os locais de criação, enquanto os demais fatores – tipo de sêmen, tipo de parto, ordem de parto, estação do ano e ano de concepção – foram tratados como efeitos fixos, de modo a estimar de forma explícita suas contribuições para a variação da DG.

A estação de concepção (primavera, verão, outono ou inverno) foi incorporada como efeito fixo, tendo o inverno como categoria de referência. Dessa forma, os coeficientes estimados para primavera, verão e outono representam diferenças em relação ao inverno, permitindo avaliar os efeitos sazonais sobre a duração da gestação, particularmente relevantes em regiões tropicais, onde variações de temperatura e umidade influenciam o ambiente intrauterino e o desenvolvimento fetal (Soares et al., 2021).

O ano de concepção foi incluído como variável contínua, representando tendências temporais e possíveis efeitos relacionados a mudanças no manejo, na genética ou nas condições climáticas ao longo do período estudado.

As análises foram conduzidas no software R (versão 4.3.3), utilizando os pacotes lme4 e lmerTest. O ajuste dos modelos foi realizado pelo método de Máxima Verossimilhança Restrita (REML), apropriado para estimativas robustas de componentes de variância em amostras desbalanceadas. A significância dos efeitos fixos foi avaliada utilizando o método de Kenward-Roger para ajuste dos graus de liberdade, enquanto as Somas de Quadrados Tipo III permitiram quantificar a contribuição individual de cada fator. Para a seleção do modelo mais parcimonioso,

foi empregado o Critério de Informação de Akaike (AIC), equilibrando ajuste e complexidade. Adicionalmente, o Fator de Inflação da Variância (VIF) foi calculado para diagnosticar multicolinearidade entre preditores, considerando valores superiores a 10 como indicativos de colinearidade elevada, a fim de assegurar estabilidade e interpretabilidade dos coeficientes estimados.

As características avaliadas, o número de observações e a distribuição das variáveis utilizadas nas análises estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Parâmetros relacionados com gestação e parição de vacas da raça Holandesa de diferentes regiões do Brasil e em diferentes manejos de criação, extraídas do banco de dados Alta CRIA.

Características avaliadas	Nº de observações
Duração da gestação em dias	60.302
Paridade da mãe	60.302
Estação de inseminação e parto	60.302
Tipo de parto	
Distócico	3.243
Eutócico	57.059
Peso da bezerra ao nascimento	60.302
Número de Fazendas	80

4. ANÁLISE ESTATÍSTICA

As análises estatísticas tiveram como objetivo identificar os fatores associados com duração da gestação (DG) em novilhas e vacas da raça Holandesa, considerando tanto a variabilidade entre fazendas quanto os efeitos de fatores ambientais e reprodutivos. Para isso, foram aplicados modelos lineares mistos, apropriados para dados observacionais hierarquizados, nos quais a estrutura de dependência entre observações dentro de cada fazenda foi explicitamente modelada. A fazenda foi

incluída como efeito aleatório, permitindo controlar a variabilidade não observada entre os locais de criação, enquanto os demais fatores – tipo de sêmen, tipo de parto, ordem de parto, estação do ano e ano de nascimento – foram tratados como efeitos fixos, de modo a estimar de forma explícita suas contribuições para a variação da DG.

A estação de concepção (primavera, verão, outono ou inverno) foi incorporada como efeito fixo, com o inverno definido como categoria de referência. Assim, os coeficientes estimados para primavera, verão e outono representam diferenças em relação ao inverno, permitindo avaliar os efeitos sazonais sobre a duração da gestação, particularmente relevantes em regiões tropicais, onde variações de temperatura e umidade influenciam o ambiente intrauterino e o desenvolvimento fetal (Soares et al., 2021).

As análises foram conduzidas no software R (versão 4.3.3), utilizando os pacotes lme4 e lmerTest. O ajuste dos modelos foi realizado pelo método de Máxima Verossimilhança Restrita (REML), apropriado para estimativas robustas de componentes de variância em amostras desbalanceadas. A significância dos efeitos fixos foi avaliada utilizando o método de Kenward-Roger para ajuste dos graus de liberdade, enquanto as Somas de Quadrados Tipo III permitiram quantificar a contribuição individual de cada fator.

Para a seleção do modelo mais parcimonioso, foi empregado o Critério de Informação de Akaike (AIC), equilibrando ajuste e complexidade. Adicionalmente, o Fator de Inflação da Variância (VIF) foi calculado para diagnosticar multicolinearidade entre preditores, considerando valores superiores a 10 como indicativos de colinearidade elevada, a fim de assegurar estabilidade e interpretabilidade dos coeficientes estimados.

4.1 MODELOS ESTATÍSTICOS PROPOSTOS

Para a análise dos dados, foram ajustados modelos lineares mistos com diferentes combinações de efeitos fixos e aleatórios, conforme descrito a seguir:

4.1.1 Modelo 1 – Efeito aleatório da fazenda sobre a duração da gestação

$$y_{ij} = \mu + f_j + \varepsilon_{ij}$$

Onde:

- y_{ij} : duração da gestação da i -ésima bezerra na j -ésima fazenda;
- μ : média geral;
- $f_j \sim N(0, \sigma^2_f)$: efeito aleatório da fazenda;
- $\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma^2)$: erro residual.

4.1.2 Modelo 2 – Efeito fixo do ano de nascimento e aleatório da fazenda

$$y_{ijk} = \mu + a_k + f_j + \varepsilon_{ijk}$$

Onde:

- a_k : efeito fixo do ano de nascimento (2017 a 2023);
- y_{ij} : duração da gestação da i -ésima bezerra na j -ésima fazenda;
- μ : média geral;
- $f_j \sim N(0, \sigma^2_f)$: efeito aleatório da fazenda;
- $\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma^2)$: erro residual.

4.1.3 Modelo 3 – Efeito do tipo de sêmen e ano sobre a duração da gestação

$$Y_{ijk} = \mu + \beta_1(\text{tipo_sêmen}_i) + \beta_2(\text{ano}_j) + u_k + \varepsilon_{ijk}$$

Onde:

- Y_{ijk} : duração da gestação da i -ésima bezerra na j -ésima fazenda;
- μ : média geral da duração da gestação;
- $\beta_1(\text{tipo_sêmen}_i)$: efeito fixo do tipo de sêmen utilizado na inseminação (sexado ou convencional);
- $\beta_2(\text{ano}_j)$: efeito fixo do ano de concepção, considerado como variável contínua;
- $u_k \sim N(0, \sigma^2_f)$: efeito aleatório da fazenda k ;
- $\varepsilon_{ijk} \sim N(0, \sigma^2)$: erro residual aleatório.

Neste modelo, consideraram-se efeitos fixos para o tipo de sêmen (sexado ou convencional) e o ano (como variável contínua), além de efeito aleatório da fazenda.

4.1.4 Modelo 4 – Efeito do tipo de parto e ano sobre a duração da gestação

$$Y_{ijk} = \mu + \beta_1(\text{tipo_parto}_i) + \beta_2(\text{ano}_j) + u_k + \varepsilon_{ijk}$$

Onde:

- Y_{ijk} : duração da gestação da i -ésima bezerra na j -ésima fazenda
- μ : média geral da duração da gestação;
- $\beta_1(\text{tipo_parto}_i)$: efeito fixo do tipo de parto (eutócico ou distócico);
- $\beta_2(\text{ano}_j)$: efeito fixo do ano de concepção, considerado como variável contínua;
- $u_k \sim N(0, \sigma^2_f)$: efeito aleatório da fazenda k ;
- $\varepsilon_{ijk} \sim N(0, \sigma^2)$: erro residual aleatório.

Esse modelo avaliou a influência do tipo de parto (eutócico ou distócico) sobre a duração da gestação, ajustado também para o efeito do ano e aleatório da fazenda.

4.1.5 Modelo 5 – Efeito da estação de concepção e ano sobre a duração da gestação

$$Y_{ijk} = \mu + \beta_1(\text{estação}_i) + \beta_2(\text{ano}_j) + u_k + \varepsilon_{ijk}$$

Onde:

- Y_{ijk} : duração da gestação da i -ésima bezerra na j -ésima fazenda;
- μ : média geral da duração da gestação;
- $\beta_1(\text{estação}_i)$: efeito fixo da estação de concepção (primavera, verão, outono ou inverno);
- $\beta_2(\text{ano}_j)$: efeito fixo do ano de concepção, considerado como variável contínua;
- $u_k \sim N(0, \sigma^2_f)$: efeito aleatório da fazenda k ;
- $\varepsilon_{ijk} \sim N(0, \sigma^2)$: erro residual aleatório.

A estação do ano (primavera, verão, outono ou inverno) foi considerada como efeito fixo, junto ao ano e ao efeito aleatório da fazenda.

4.1.6 Modelo 6 – Regressão múltipla com variáveis explicativas

$$Y_{ijklm} = \mu + \beta_1(op_i) + \beta_2(op_i^2) + \beta_3(tp_j) + \beta_4(est_k) + \beta_5(ano_l) + \beta_6(peso_m) + u_n + \varepsilon_{ijklm}$$

Este modelo considerou múltiplos efeitos fixos, incluindo:

- op_i : ordem de parto da vaca i ;
- tp_j : tipo de parto j (eutócico ou distócico);
- est_k : estação de concepção k ;
- ano_l : ano de nascimento l ;
- $peso_m$: peso ao nascimento da bezerra m ;
- u_n : efeito aleatório da fazenda n ;
- ε_{ijklm} : erro aleatório residual

4.2 Seleção e Diagnóstico do Modelo

A seleção do modelo foi realizada com base no Critério de Informação de Akaike (AIC), que permite comparar diferentes modelos estatísticos, favorecendo aquele que apresenta o melhor equilíbrio entre qualidade de ajuste e complexidade, ou seja, o menor valor de AIC. Para definir os efeitos fixos mais adequados, foi utilizada uma abordagem de eliminação regressiva (*backward selection*), na qual as variáveis foram retiradas progressivamente do modelo, uma a uma, com base em sua contribuição estatística, até que se alcançasse uma estrutura parcimoniosa e estatisticamente consistente.

Após a definição do modelo, avaliou-se a presença de multicolinearidade entre os efeitos fixos por meio do cálculo dos Fatores de Inflação da Variância (VIF). Variáveis com VIF superior a 10 foram excluídas da análise, conforme o critério proposto por Kaps e Lamberson (2004), uma vez que altos valores indicam forte correlação entre variáveis explicativas, o que pode comprometer a estabilidade e a interpretação dos coeficientes estimados.

O modelo final ajustado para análise da duração da gestação foi um modelo linear misto com efeitos fixos e aleatórios, representado pela seguinte equação:

$$Y_{ijk} = \mu + \beta_1(op_i) + \beta_2(op^2_i) + \beta_3(tp_j) + \beta_4(est_k) + \beta_5(ano_j) + \beta_6(peso_i) + u_k + \varepsilon_{ijk}$$

Onde:- Y_{ijklm} : duração da gestação da i-ésima bezerra;

- μ : média geral da duração da gestação;
- $\beta_1(op_i)$: efeito linear da ordem de parto da vaca i;
- $\beta_2(op^2_i)$: efeito quadrático da ordem de parto da vaca i;
- $\beta_3(tp_j)$: efeito fixo do tipo de parto (eutócico ou distócico);
- $\beta_4(est_k)$: efeito fixo da estação de concepção (primavera, verão, outono ou inverno);
- $\beta_5(ano_j)$: efeito fixo do ano de concepção, considerado como variável contínua;
- $\beta_6(peso_m)$: efeito fixo do peso ao nascimento da bezerra;
- $u_n \sim N(0, \sigma^2_f)$: efeito aleatório da fazenda n;
- $\varepsilon_{ijklm} \sim N(0, \sigma^2)$: erro residual aleatório.

Em todos os modelos, assumiu-se que os efeitos aleatórios e os erros residuais seguem distribuição normal, com média zero e variâncias constantes. O modelo final foi selecionado por apresentar o melhor equilíbrio entre qualidade de ajuste e parcimônia, conforme indicado pelo Critério de Informação de Akaike (AIC). Sua estrutura permite capturar de forma abrangente a complexidade dos fatores que influenciam a duração da gestação (DG). Foram incorporados os seguintes efeitos:

A ordem de parto (op) e sua forma quadrática (op^2) modelam o efeito não linear da paridade sobre a DG, reconhecendo que a duração pode aumentar até certo ponto e posteriormente diminuir, como sugerido na literatura (Aroeira et al., 1980; McClintock et al., 2003). O tipo de parto (eutócico vs. distócico) foi incluído como variável categórica, refletindo as diferenças fisiológicas associadas a partos com ou sem auxílio (Mee, 2008).

A estação de concepção permite captar efeitos sazonais, particularmente relevantes em regiões tropicais, onde variações de temperatura e umidade influenciam o ambiente intrauterino e, conseqüentemente, a DG (Soares et al., 2021). O ano de nascimento, considerado como variável contínua, representa tendências temporais e possíveis efeitos relacionados a mudanças no manejo, na genética ou nas condições climáticas ao longo do tempo. O peso ao nascimento da bezerra, incluído como covariável contínua, está associado ao desenvolvimento fetal e, portanto, à duração da gestação.

O efeito aleatório da fazenda (u_k) controla a variabilidade entre propriedades, atribuindo às diferenças de manejo, infraestrutura, localização geográfica e utilização tecnológica, e melhora a robustez do modelo ao considerar a estrutura hierárquica dos dados observacionais.

A adoção desse modelo possibilitou uma análise mais realista e ajustada à estrutura dos dados, maximizando a explicação da variabilidade da DG, ao mesmo tempo em que respeita os pressupostos estatísticos do modelo misto. Todos os testes estatísticos foram realizados no ambiente R, utilizando o método REML para estimação dos componentes de variância, devido à sua robustez em amostras desbalanceadas, e as somas de quadrados tipo III permitiram a avaliação do efeito de cada variável, controlando os demais fatores no modelo. Qual o valor de P considerado significativo?

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise indicou que o tipo de parto influenciou a duração da gestação ($p < 0,001$), com partos eutócicos apresentando média gestacional de 273,76 dias, ligeiramente superior à observada em partos distócicos (273,60 dias). O modelo estimou aumento médio de $0,24 \pm 0,08$ dias na DG para partos eutócicos. Embora não tenha sido realizada análise estratificada por paridade, o modelo incluiu a ordem de parto como efeito fixo linear e quadrático, permitindo captar variações associadas à experiência reprodutiva dos animais. É plausível que a maior incidência de distocia em primíparas – amplamente relatada na literatura – tenha contribuído para esse padrão, uma vez que fêmeas jovens apresentam menor capacidade uterina, menor área disponível para expansão placentária e estruturas pélvicas menos desenvolvidas, condições que podem antecipar o desencadeamento do parto como resposta fisiológica ao crescimento fetal (Ferreira et al., 2016; Wiltbank et al., 2014). Os valores médios, a variabilidade e a significância estatística da duração da gestação em função do tipo de parto estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Duração da gestação em vacas da raça Holandesa, em diferentes regiões do Brasil e submetidas a diferentes manejos de criação, de acordo com o tipo de parto.

Tipo de parto	Frequência (n)	Média (dias)	Desvio padrão	Erro padrão	p-valor
----------------------	-----------------------	---------------------	----------------------	--------------------	----------------

Distócico	3408	273,60	±0,83	±0,08	<0,001
Eutócico	59895	273,76	±0,84	±0,08	

A ordem de parto exerceu efeito significativo sobre a duração da gestação, com comportamento quadrático ($p < 0,001$), caracterizado por aumento progressivo da DG até a quarta ou quinta parição, seguido de discreta redução nas ordens subsequentes. As vacas primíparas ($n = 30.298$) apresentaram média de 273,30 dias (DP = 5,69; EP = 0,033), enquanto aquelas de quarta parição ($n = 4.847$) atingiram média de 274,14 dias (DP = 5,71; EP = 0,082), representando acréscimo significativo ($p < 0,05$). Esse padrão é consistente com o relatado na literatura (Norman et al., 2009; Lafontaine et al., 2023) e pode refletir a maior capacidade uterina, maior área de contato placentário e melhor eficiência hemodinâmica em fêmeas pluríparas, que favorecem o crescimento fetal e sustentam gestações ligeiramente mais longas (Nogalski & Piwczyński, 2012). Por outro lado, primíparas tendem a originar bezerros de menor peso ao nascimento (Bittrich et al., 2004) e apresentam menor espaço pélvico e menor expansão uterina, condições que podem levar ao desencadeamento mais precoce do parto, contribuindo para a menor duração gestacional observada nesse grupo (Mee, 2008). O comportamento quadrático da duração da gestação em função da ordem de parto é ilustrado na Figura 4.

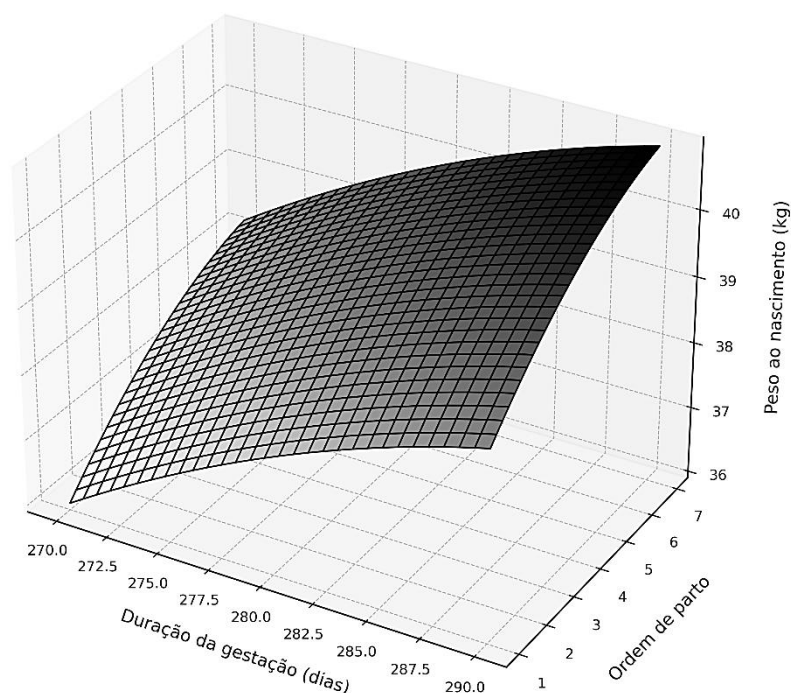


Figura 4: Comportamento quadrático entre duração da gestação e ordem de parto em vacas da raça Holandesa, de diferentes regiões do Brasil, submetidas a diferentes manejos de criação.

No presente estudo, observou-se correlação positiva entre a duração da gestação e o peso ao nascimento das bezerras, corroborando o descrito na literatura de que gestações mais longas resultam em crias mais pesadas (Meyer et al., 2001; Hansen et al., 2004). A média geral do peso ao nascimento foi de $37,87 \pm 4,67$ kg, com variação entre 20 e 60 kg, refletindo a ampla diversidade fenotípica presente no banco de dados analisado. Cada dia adicional de gestação resultou em acréscimo médio de 0,17 kg no peso ao nascimento ($p < 0,001$), evidenciando o impacto do tempo gestacional sobre o crescimento fetal intrauterino. O modelo estatístico indicou ainda contribuição relevante do efeito aleatório da fazenda, com variância de $3,21 \pm 1,79$ kg, possivelmente relacionada a diferenças entre propriedades quanto a manejo nutricional, ambiente, condição corporal das vacas, genética utilizada nos acasalamentos e nível tecnológico empregado.

A análise conjunta entre a duração da gestação, a ordem de parto e o peso ao nascimento evidenciou associação positiva entre esses parâmetros. Bezerras oriundas de vacas pluríparas e de gestações mais longas apresentaram, em média, maior peso ao nascer. A regressão ajustada indicou um padrão de crescimento fetal progressivo, com incremento do peso ao nascimento à medida que a ordem de parto aumentava e a gestação se prolongava (relação evidenciada por uma curva de superfície ajustada na figura 5). Além disso, a relação entre duração da gestação e peso ao nascimento demonstrou um padrão quadrático (Figura 4), com aumento contínuo do peso fetal até cerca de 288 dias, quando o peso médio ao nascimento se aproximou de 41 kg, estabilizando-se ou até mesmo reduzindo levemente após esse ponto. Esse padrão reforça a hipótese de que há um ponto de maturação fetal ideal, a partir do qual o prolongamento da gestação não resulta em ganhos adicionais relevantes de peso.

A relação entre duração da gestação, ordem de parto e peso ao nascimento das bezerras é ilustrada na Figura 5.



$$\text{Total Var} = 10,35 + 28,4 = 38.75$$

$$\text{Fazenda} = 26,7 \%$$

Figura 5. Peso ao nascimento de bezerras de vacas da raça holandesa, de diferentes regiões do Brasil, submetidas a diferentes manejos de criação, de acordo com a ordem de parto e duração da gestação

Embora o presente estudo não tenha testado a causalidade entre DG e peso ao nascimento, a relação observada corrobora os estudos anteriores, como as de Johanson e Berger (2003), que verificaram que gestações mais longas tendem a gerar bezerros mais pesados, mas também aumentam o risco de distocias. Assim, a gestão reprodutiva deve equilibrar tempo gestacional, peso ideal ao nascimento e condição materna, especialmente em primíparas, visando reduzir perdas perinatais e promover o bem-estar neonatal.

A estação do ano à concepção demonstrou efeito significativo sobre a duração da gestação. As comparações múltiplas entre as médias ajustadas de duração da gestação revelaram diferenças entre as estações do ano. As gestações iniciadas no inverno apresentaram maior média (274,8 dias), sendo mais longas do que aquelas iniciadas na primavera (273,9 dias; diferença = 0,88 dias; $p < 0,0001$), no verão (273,9 dias; diferença = 0,87 dias; $p < 0,0001$) e no outono (274,3 dias; diferença = 0,45 dias; $p < 0,0001$). Além disso, observaram-se diferenças entre o outono e as estações mais

quentes, com a primavera apresentando DG de 0,43 dias mais curta que o outono ($p < 0,0001$), e o verão, 0,42 dias mais curta ($p < 0,0001$). Não houve diferença entre primavera e verão ($p = 0,9991$), sugerindo que o padrão de encurtamento da gestação está mais relacionado à comparação com as estações de clima ameno. As médias ajustadas, os contrastes estatísticos e a distribuição das observações por estação de concepção estão apresentadas na Tabela 3, enquanto a tendência da duração da gestação ao longo das estações do ano é ilustrada na Figura 6.

Estes dados reforçam a hipótese de que o estresse por calor, associado a condições ambientais adversas durante a concepção, favoreça a ativação precoce do eixo hipotálamo–hipófise–adrenal fetal e a consequente liberação de cortisol, antecipando o processo de parto em comparação com vacas que parem na estação fria, o que explica a relação entre estação do ano e duração da gestação (Vieira-Neto et al., 2017). Estudos anteriores também corroboram esses resultados sugerindo que os meses mais quentes estão associados a gestações ligeiramente mais curtas, possivelmente devido ao estresse térmico e menor conforto ambiental, que podem afetar o ambiente uterino e, conseqüentemente, o desenvolvimento fetal (Cole et al., 2005; Soares, Reis e Dias, 2021). A Tabela 3 e a figura 6 apresentam a duração média da gestação por estação.

Tabela 3: Duração da gestação em vacas da raça Holandesa, em diferentes regiões do Brasil e submetidas a diferentes manejos de criação, de acordo com a estação de concepção considerando o inverno como referência.

Estação	Frequência (n)	Média ± Desvio padrão	Erro padrão	p-valor (vs inverno)
Primavera	11111	273.9 ± 0.87	0.06	< 0,001
Verão	13366	273.9 ± 0.86	0.05	< 0,001
Outono	21545	274.3 ± 0.86	0.05	< 0,001
Inverno	14280	274.8 ± 0.86	0.05	-

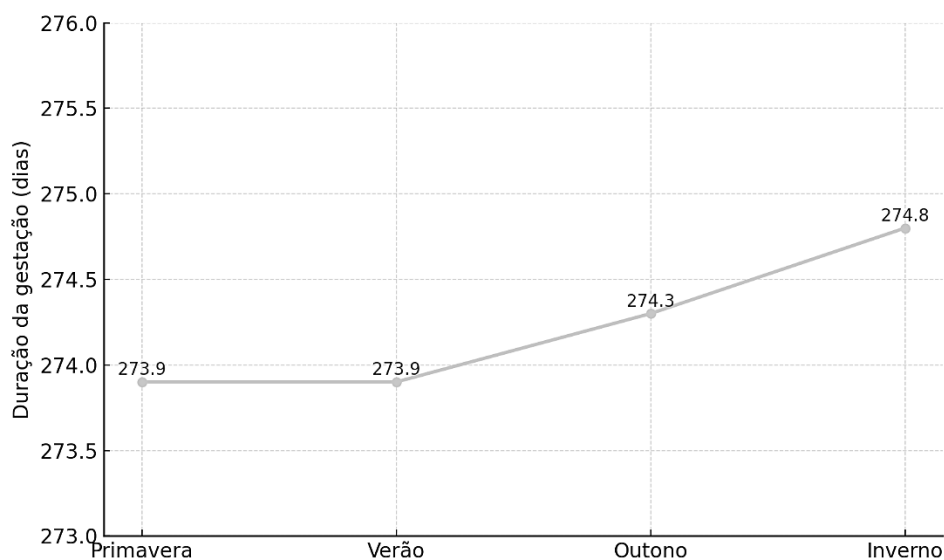


Figura 6: Duração da gestação em vacas da raça Holandesa, em diferentes regiões do Brasil e submetidas a diferentes manejos de criação, de acordo com a estação de concepção considerando o inverno como referência.

O ano de nascimento influenciou a DG, apresentando efeito linear negativo ($-0,22$ dias por ano; $p < 0,001$). As médias indicaram diferenças estatisticamente significativas entre os anos avaliados (Figura 7), com destaque para o período de 2020 a 2022, no qual as gestações foram, em média, mais curtas em relação a 2017 (reduções superiores a um dia; $p < 0,001$). Essas variações entre anos podem refletir mudanças nas condições climáticas, ajustes nos manejos nutricional e sanitário dos rebanhos, além de possíveis efeitos indiretos da seleção genética acumulada sobre o componente fetal da DG, cuja influência tende a se manifestar de forma gradual ao longo das gerações (Cole et al., 2005; Norman et al., 2009; Haile-Mariam & Pryce, 2019).

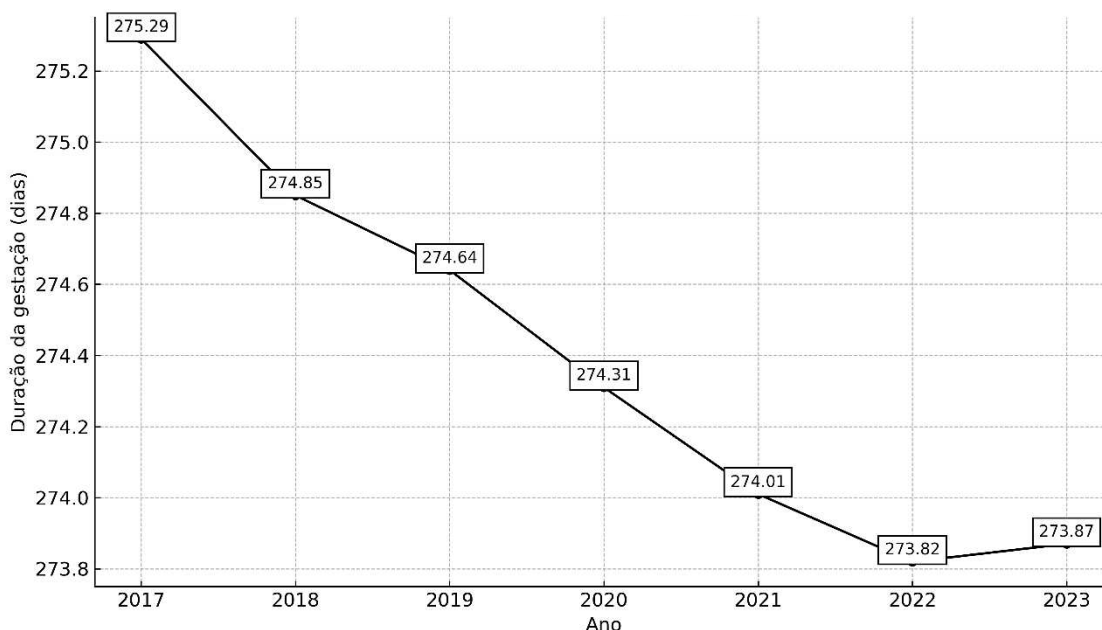


Figura 7: Duração média da gestação (em dias) de vacas da raça Holandesa em diferentes regiões do Brasil, no período de 2017 a 2023, de acordo com ano de nascimento, no período de 2017 a 2023.

Histogramas dos resíduos *studentizados* (Figura 8) obtidos a partir dos modelos ajustados para a duração da gestação. As barras representam a distribuição dos resíduos padronizados por sua variância, permitindo avaliar a adequação do modelo quanto à suposição de normalidade. A curva sobreposta corresponde à distribuição normal teórica padrão, servindo como referência para comparação visual. O eixo das abscissas indica os valores dos resíduos em desvios-padrão (de -3 a +3), enquanto o eixo das ordenadas expressa a densidade de probabilidade. A proximidade entre o histograma e a curva normal sugere que os resíduos seguem uma distribuição aproximadamente normal, o que reforça a validade dos pressupostos do modelo estatístico utilizado.

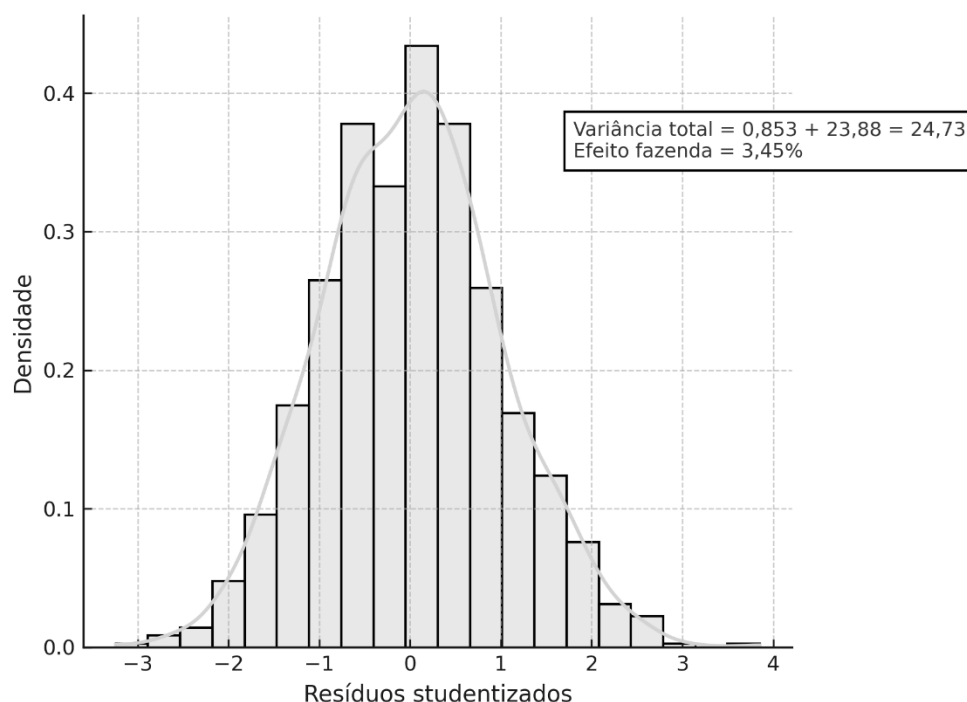


Figura 8: Resíduos *studentizados* do modelo 1 e a variação total do efeito fazenda sobre a duração da gestação em vacas da raça Holandesa, de diferentes regiões do Brasil e em diferentes manejos de criação.

Por fim, a avaliação da estrutura de variância do modelo reforça a robustez dos resultados apresentados. A variância total estimada no presente estudo foi de 38,75, composta pela variância atribuída ao efeito aleatório de fazenda (10,35) e pelo efeito residual (28,40). Assim, o efeito de fazenda respondeu por 26,7% da variabilidade total observada (Figura 5), indicando que aproximadamente um quarto da variação na duração da gestação é influenciado por diferenças entre propriedades.

A discrepância entre o percentual de variância explicado pela fazenda nas diferentes análises (3,45% na Figura 8 versus 26,7% na Figura 5) decorre da estrutura dos modelos estatísticos empregados. Na análise inicial (Figura 8), o modelo incluía apenas os efeitos de fazenda e ano, captando uma parcela mais limitada das fontes de variação. Já no modelo final, foram incorporadas variáveis adicionais intimamente relacionadas ao desempenho reprodutivo, como peso ao nascimento e ordem de parto. A variabilidade da duração média da gestação entre as diferentes fazendas ao longo do período estudado é apresentada na Figura 9.

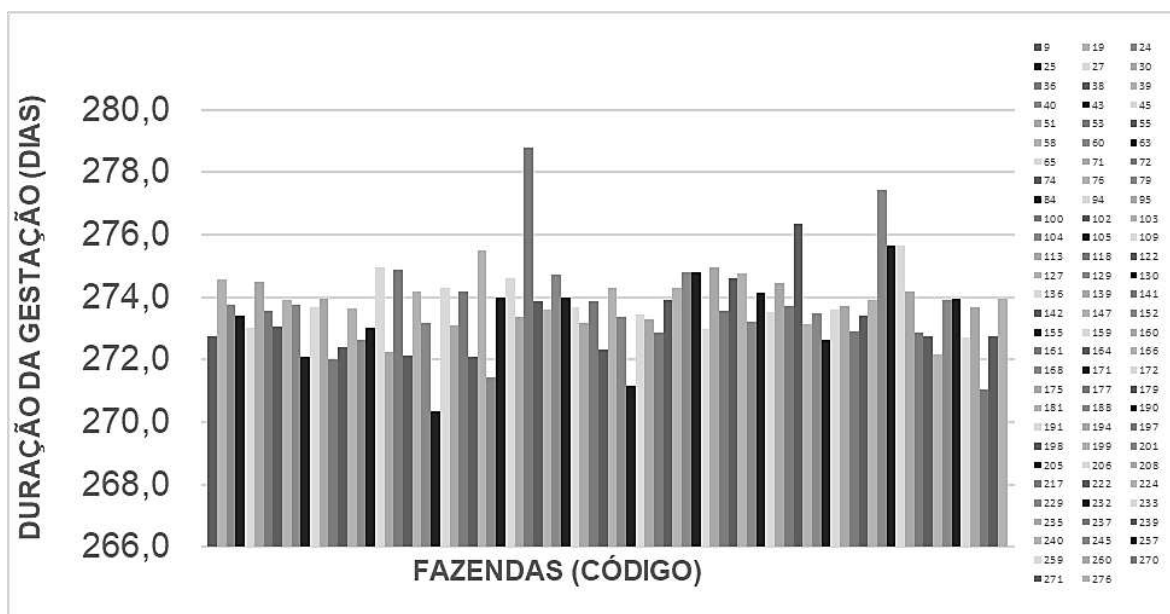


Figura 9: Duração média da gestação (em dias) por fazenda ao longo do período estudado. Cada linha representa uma fazenda, mostrando a variabilidade entre unidades e justificando a inclusão do efeito aleatório de fazenda no modelo.

Como essas variáveis se distribuem de maneira desigual entre rebanhos – refletindo diferenças em genética utilizada, estado nutricional das vacas, ambiente, manejo reprodutivo e nível tecnológico – a inclusão delas aumentou a capacidade do modelo de identificar contrastes reais entre propriedades. Consequentemente, uma fração maior da variabilidade total passou a ser atribuída ao efeito aleatório de fazenda. Portanto, o aumento de 3,45% para 26,7% não indica mudança no dado em si, mas sim maior sensibilidade do modelo final em captar as particularidades estruturais e ambientais de cada rebanho.

Apesar da abrangência e robustez da base de dados utilizada, os resultados devem ser interpretados à luz de algumas limitações inerentes ao delineamento observacional do estudo. Os dados foram provenientes de fazendas comerciais participantes do programa Alta CRIA, o que permitiu capturar ampla variabilidade de sistemas produtivos e regiões, porém restringe inferências causais diretas sobre os fatores que modulam a duração da gestação. Além disso, variáveis potencialmente relevantes, como informações nutricionais detalhadas, status sanitário das vacas gestantes, dados genômicos ou genealógicos e indicadores individuais de estresse térmico, não estavam disponíveis para incorporação nos modelos, podendo ter limitado a explicação total da variabilidade observada.

O Q-Q plot apresentado na Figura 10 mostra que os efeitos aleatórios de fazenda sobre o peso ao nascimento das bezerras seguem de forma razoável uma distribuição normal, com pontos próximos à linha teórica. A dispersão dos pontos revela diferenças entre fazendas, indicando que algumas unidades apresentam efeitos mais positivos ou negativos sobre o peso ao nascimento. Essa variabilidade justifica a inclusão do efeito aleatório de fazenda no modelo, garantindo que as comparações entre outros fatores (tipo de parto, estação do ano, peso ao nascimento) considerem as diferenças intrínsecas entre as unidades experimentais.

Ainda que a modelagem hierárquica tenha permitido controlar a dependência das observações dentro das fazendas, é possível que correlações não observadas entre variáveis tenham influenciado parcialmente as estimativas dos efeitos. A própria estrutura aninhada dos dados impõe desafios inerentes à separação completa dos efeitos individuais, mesmo com a verificação de multicolinearidade e a inclusão do efeito aleatório de fazenda. Além disso, a representatividade da amostra está condicionada às propriedades participantes do programa, podendo não refletir integralmente todas as realidades da pecuária leiteira brasileira.

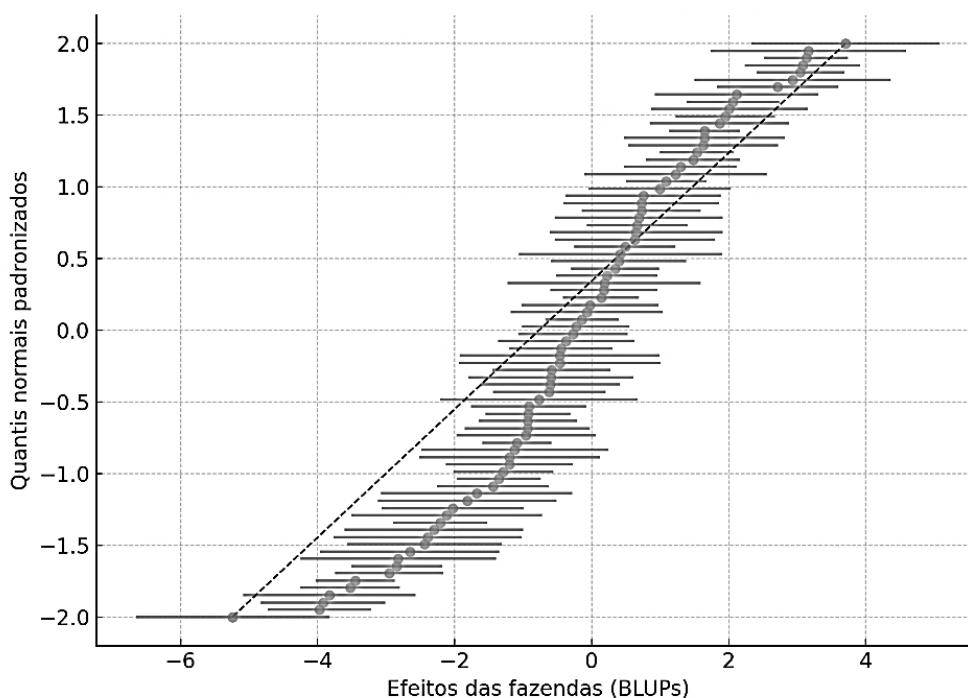


Figura 10: Q-Q plot dos efeitos aleatórios de fazenda sobre o peso ao nascimento das bezerras. Cada ponto representa uma fazenda; a linha diagonal indica a distribuição normal teórica.

Apesar da robustez da base de dados utilizada, algumas limitações devem ser consideradas na interpretação dos resultados. O estudo foi conduzido com dados observacionais provenientes de fazendas comerciais participantes do programa Alta CRIA, o que, embora tenha permitido avaliar uma ampla diversidade de sistemas de manejo e regiões, restringe a capacidade de inferência causal direta sobre os fatores que influenciam a duração da gestação. Adicionalmente, algumas variáveis potencialmente relevantes, como condições nutricionais detalhadas, status de saúde das vacas gestantes, a não incorporação de informações genômicas ou genealógicas e indicadores de estresse térmico individual, não estavam disponíveis para serem integradas nas análises, o que pode ter limitado a explicação total da variabilidade observada na gestação.

Outro aspecto a ser considerado é a própria estrutura hierárquica dos dados, com observações aninhadas dentro de fazendas. Apesar de o efeito aleatório da fazenda ter sido incluído nos modelos e de ter sido realizada a verificação de multicolinearidade entre os preditores, ainda é possível que correlações não observadas entre variáveis tenham influenciado parcialmente as estimativas dos efeitos. Além disso, a representatividade da amostra está condicionada às fazendas participantes do programa, podendo os resultados não refletir integralmente todas as realidades da pecuária leiteira brasileira.

Diante dessas limitações, estudos futuros podem se beneficiar da realização de ensaios controlados, permitindo a avaliação de efeitos diretos de fatores ambientais, nutricionais ou de manejo sobre a duração da gestação. A incorporação de informações adicionais, como genética detalhada, parâmetros de saúde, indicadores de estresse e práticas nutricionais específicas, poderá aumentar a precisão das análises e a compreensão dos mecanismos que modulam a gestação. Modelos hierárquicos mais sofisticados ou abordagens de machine learning também representam uma perspectiva promissora para melhorar a predição da duração gestacional em diferentes condições produtivas.

Considerando os resultados obtidos, estudos futuros podem se beneficiar da adoção de delineamentos experimentais controlados, permitindo a avaliação direta de fatores ambientais, nutricionais e de manejo sobre a duração da gestação. A incorporação de informações adicionais, como dados genômicos detalhados, parâmetros sanitários, indicadores individuais de estresse térmico e práticas

nutricionais específicas, tende a aumentar a precisão das análises e aprofundar a compreensão dos mecanismos fisiológicos que modulam a gestação. Abordagens analíticas mais sofisticadas, incluindo modelos hierárquicos avançados ou técnicas de machine learning, também representam perspectivas promissoras para aprimorar a predição da duração gestacional em diferentes contextos produtivos.

6. CONCLUSÃO

O presente estudo contribuiu para o entendimento dos fatores associados à duração da gestação em vacas Holandesas no Brasil, utilizando uma base de dados ampla, representativa e abrangendo diferentes sistemas de manejo e regiões do país. Os resultados indicam que a duração da gestação apresenta variações relacionadas a características maternas, tipo de parto, estação de concepção, ano de nascimento e peso ao nascimento das bezerras, além da variabilidade entre propriedades.

A ordem de parto demonstrou efeito sobre a duração gestacional e o peso ao nascimento, sendo que vacas primíparas apresentaram gestações ligeiramente mais curtas e bezerras de menor peso. O tipo de parto também se mostrou relevante, com partos distócicos associados a uma redução na duração da gestação. Além disso, a estação do ano influenciou discretamente o tempo gestacional, com concepções em períodos mais quentes resultando em ligeira redução da duração da gestação.

O efeito aleatório da fazenda evidenciou a importância de fatores estruturais e de manejo, indicando que diferenças entre propriedades contribuem para a variabilidade observada na duração da gestação.

A duração da gestação em vacas Holandesas é multifatorial, sendo simultaneamente influenciada por características maternas e condições de manejo, evidenciando a necessidade de uma abordagem integrada no planejamento reprodutivo em sistemas leiteiros tropicais.

7. REFERÊNCIAS

ABUELO A. Symposium review: Late-gestation maternal factors affecting the health and development of dairy calves. *J. Dairy Sci.* 2020 Apr;103(4):3882–93.

AHMED, B. M. ET AL. Late-gestation maternal heat stress in dairy cows alters growth, immune organ development, and immune cell phenotypes in neonatal calves. *JDS Communications*, [S. l.], v. 2, n. 1, p. 8–13, 2021.

ALHINAI, S. S. et al. Late-gestation heat stress alters placental structure and function in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, [S. l.], v. 107, n. 6, p. 4825–4841, 2024

ANDERSEN H, PLUM M. Gestation length and birth weight in cattle and buffaloes: a review. *J Dairy Sci.* 1965 Sep;48(9):1224–35.

AROEIRA JADC, SAMPAIO IBM. Duração da gestação em gado Zebu. *Pesq Agropec Bras.* 1980;15(2):167–169.

BAJAGAI YS. Global climate change and its impacts on dairy cattle. *Nepalese Vet J.* 2011;30:2–16.

BARTH AD. Induced parturition in cattle. In: Morrow DA, editor. *Current therapy in theriogenology*. Philadelphia: W.B. Saunders; 1986. p. 209–13.

BATISTEL F, ALHARTHI AS, WANG L, ET AL. Placentome nutrient transporters and mammalian target of rapamycin signaling proteins are altered by the methionine supply during late gestation in dairy cows and are associated with newborn birth weight. *J Nutr.* 2017 Sep;147(9):1640–7.

BLEUL, U. (2011). Risk factors and rates of perinatal and postnatal mortality in cattle in Switzerland. *Livestock Science*, **135**(2–3), 257–264.

BRAGA LG, SCHENKEL FS, CHUD TCS, RODRIGUES JL, SAADA B, MACHADO MA, PANETTO JCC, SILVA MVGB, MUNARI DP. Selection signatures in Gir and Holstein cattle. *J Dairy Sci.* 2025 Jun 11:S0022-0302(25)00415-1.

BRAMELD JM, GREENWOOD PL, BELL AW. Biological mechanisms of fetal development relating to postnatal growth, efficiency and carcass characteristics in ruminants. In: Greenwood et al., editors. *Managing the prenatal environment to enhance livestock productivity*. Dordrecht: Springer; 2010. p. 93–120.

CAMACHO LE, LEMLEY CO, DORSAM ST, SWANSON KC, VONNAHME KA. Effects of maternal nutrient restriction followed by realimentation during early and mid-gestation in beef cows. II. Placental development, umbilical blood flow, and uterine blood flow responses to diet alterations. *Theriogenology*. 2018 Jan;116:1–11.

CAMPBELL RM, INNES JR, KOSTERLITZ HW. Some dietary and hormonal effects on maternal, fetal, and placental weights in the rat. *J Endocrinol*. 1953 Jan;9:68.

CASAROTTO, L. T. et al. *Late-gestation heat stress alters placental structure and function in multiparous dairy cows*. *Journal of Dairy Science*, Champaign, v. 108, n. 1, p. 1125–1137, 2025.

COLE JB, GOODLING RC, WIGGINS GR, VANRADEN PM. Genetic evaluation of calving ease for Brown Swiss and Jersey bulls from purebred and crossbred calvings. *J Dairy Sci*. 2005 Apr;88(4):1529–39.

COLLIER RJ, SIMERL NA, WILCOX CJ. Effect of month of calving on birth weight, milk yield and birth weight - milk yield interrelationships. *J Dairy Sci*. 1980 Jan;63(1):90–5.

DAVIES CJ, HILL JR, EDWARDS JL, SCHRICK FN, FISHER PJ, ELDRIDGE JA, SCHLAFER DH. Major histocompatibility antigen expression on the bovine placenta: its relationship to abnormal pregnancies and retained placenta. *Anim Reprod Sci*. 2004;82–83:267–80.

DEFRIES JC, TOUCHBERRY RW, HAYS RL. Heritability of the length of the gestation period in dairy cattle. *J Dairy Sci*. 1959;42:598–606.

DENGLER, C.; GRÄTZ, S.; HUSCHER, J.; RANZ, C.; STEINER, A.; BORCHERS, M. R. Maternal stress and placental gene expression in Holstein cows:

Associations with calf birth weight and immunity. *Journal of Dairy Science*, v. 108, n. 7, p. 1–14, 2025.

DOBOS, R. C. ET AL. Effects of late-gestation heat stress independent of reduced feed intake in dry cows. *Journal of Dairy Science*, [S. l.], v. 103, n. 8, p. 8051–8063, 2020.

DRACKLEY, J.K. (1999). Biology of dairy cows during the transition period: the final frontier? *Journal of Dairy Science*, 82(11), 2259–2273.

DU M, HUANG Y, DAS AK, YANG Q, DUARTE MS, MODSON MV, ZHU MJ. Manipulating mesenchymal progenitor cell differentiation to optimize performance and carcass value of beef cattle. *J Anim Sci*. 2013 Mar;91(3):1419–27.

DU M, TONG J, ZHAO J, UNDERWOOD KR, ZHU M, FORD SP, NATHANIELSZ PW. Fetal programming of skeletal muscle development in ruminant animals. *J Anim Sci*. 2010 Jan;88(1):51–60.

DUBOIS PR, WILLIAMS DJ. Increased incidence of retained placenta associated with heat stress in dairy cows. *Theriogenology*. 1980 Feb;13(2):115–121.

EAGLEN SAE, COFFEY MP, WOOLLIAMS JA, WALL E. Direct and maternal genetic relationships between calving ease, gestation length, milk production, fertility, type, and lifespan of Holstein-Friesian primiparous cows. *J Dairy Sci*. 2013 Jun;96(6):4015–25.

EDWARDS, A. K. ET AL. Identification of pathways associated with placental adaptation to maternal nutrient restriction in sheep. *Genes*, v. 11, n. 9, p. 1031, 2020.

FANG L, JIANG J, LI B, ZHOU Y, FREEBERN E, VANRADEN P, COLE J, LIU G. Genetic and epigenetic architecture of paternal origin contribute to gestation length in cattle. *Commun Biol*. 2019 Aug 19;2:100.

FERREIRA LFV. Taxa de gestação de fêmeas Nelore confinadas, submetidas à inseminação artificial em tempo fixo. 2016.

FERRELL CL, GARRETT WN, HINMAN N. Growth, development, and composition of the udder and gravid uterus of beef heifers during pregnancy. *J Anim Sci.* 1986;63(5):1589–1603.

FERRELL CL. Factors influencing fetal growth and birth weight in cattle. In: Hruska RL, editor. *U.S. Meat Animal Research Center*; 1993. p. 132.

GACCIOLI F, LAGER S, POWELL TL, JANSSON T. Placental transport in response to altered maternal nutrition. *J Dev Orig Health Dis.* 2013 Apr;4(2):101–15.

GALLUZZO F, VISENTIN G, VAN KAAM JBCHM, FINOCCHIARO R, BIFFANI S, COSTA A, MARUSI M, CASSANDRO M. Genetic evaluation of gestation length in Italian Holstein breed. *J Anim Breed Genet.* 2024 Mar;141(2):113-123. doi: 10.1111/jbg.12828. Epub 2023 Oct 11. PMID: 37822164.

GORE MT, YOUNG RB, CLAEYS MC, CHROMIAK JA, SHE H, MARPLE DN, HOUGH JD, GRIFFIN JL, MELVANEY DR. Growth and development of bovine fetuses and neonates representing three genotypes. *J Dairy Sci.* 1990;73(5):1689–96.

HAILE-MARIAM M, PRYCE JE, GODDARD ME. Genetic evaluation of gestation length and its use in managing calving patterns. *J Dairy Sci.* 2019 Jan;102(1):476–87.

HANSEN M, LUND MS, PEDERSEN J, CHRISTENSEN LG. Gestation length in Danish Holsteins has weak genetic association with stillbirth, calving difficulty, and calf size. *Livest Prod Sci.* 2004;91:23–33.

Holstein cattle in the United States. *J Dairy Sci.* 2000 Nov;83(11):2657–2663.

HOSEINI, E.; BAES, C. F.; SCHENKEL, F. S.; MALTECCA, C. *Gestation length and its associations with calf birth weight, calving ease, and stillbirth in North American Holsteins.* *Journal of Dairy Science*, [S. l.], v. 107, n. 7, p. 6087–6101, jul. 2024.

JAMROZIK J, FATEHI J, KISTEMAKER GI, SCHAEFFER LR. Estimates of genetic parameters for Canadian Holstein female reproduction traits. *J Dairy Sci.* 2005;88:2199–2208.

JENKINS GM, AMER P, STACHOWICZ K, MEIER S. Phenotypic associations between gestation length and production, fertility, survival, and calf traits. *J Dairy Sci.* 2016;99:418–426.

JOHANSON JM, BERGER PJ. Birth weight as a predictor of calving ease and perinatal mortality in Holstein cattle. *J Dairy Sci.* 2003 Nov;86(11):3745–3755.

KING KK, SEIDEL GE, ELSDEN RPB. Bovine embryo transfer pregnancies. II. Lengths of gestation. *J Anim Sci.* 1985 Oct;61(4):758–62.

KLEIN JL, MACHADO DS, ADAMS SM, ALVES FILHO DC, BRONDANI IL. Efeitos da nutrição materna na gestação sobre a qualidade da progênie: Uma revisão. *Res Soc Dev.* 2021 Feb;10(2):e45710212654.

LAFONTAINE S, CUE RI, SIRARD MA. Gestational and health outcomes of dairy cows conceived by assisted reproductive technologies compared to artificial insemination. *Theriogenology.* 2023 Mar 1;198:282-291.

Livestock Improvement Corporation. Short gestation length. Livestock Improvement Corporation. Accessed January 2025. Available from: http://www.lic.co.nz/lic_Premier_Sires_Teams.cfm

LUCY MC, WIERSMA F, ASHWORTH CJ, CHARPENTEAU JC. Cortisol, parturition, and postnatal function in dairy cows. *J Dairy Sci.* 1994 Apr;77(4):1127–35.

MANFREDI EJ, CRISTOBAL MS, FOULLEY JL. Some factors affecting the estimation of genetic parameters for cattle dystocia under a threshold model. *Anim Sci.* 1991;53(2):151–6.

MATTHEWS SG, CHALLIS JRG. Regulation of the hypothalamo-pituitary-adrenocortical axis in fetal sheep. *Trends Endocrinol Metab.* 1996;7:239–46.

MCCLINTOCK S, BEARD K, GILMOUR A, GODDARD M. Relationship between calving traits in heifers and mature cows in Australia. *Interbull Bull.* 2003;31:102–106.

MCCLINTOCK S. Genetic evaluation of dystocia in Australian Holstein-Friesian cattle. PhD Dissertation. Melbourne, Australia: Institute of Land and Food Resources, The University of Melbourne; 2004.

MCGUIRK BJ, GOING I, GILMOUR AR. The genetic evaluation of UK Holstein Friesian sires for calving ease and related traits. *Anim Sci.* 1999;68(3):413–22.

MCMILLEN IC, PHILLIPS ID, ROSS JT, ROBINSON JS, OWENS JA. Chronic stress—the key to parturition? *Reprod Fertil Dev.* 1995;7:499–507.

MEYER, C. L.; BERGER, P. J.; KOEHLER, K. J. Interactions among factors affecting stillbirths in Holstein cattle in the United States. *Journal of Dairy Science*, Champaign, v. 83, n. 11, p. 2657–2663, nov. 2000.

MONTEIRO, A. P. A.; TAO, S.; THOMPSON, I. M. T.; DAHL, G. E. In utero heat stress decreases calf survival and performance through the first lactation. *Journal of Dairy Science*, Champaign, v. 99, n. 10, p. 8443–8450, Oct. 2016.

NADARAJAH K, BURNSIDE EB, SCHAEFFER LR. Factors affecting gestation length in Ontario Holsteins. *Can J Anim Sci.* 1989;69:1083–6.

NADARAJAH K, BURNSIDE EB, SCHAEFFER LR. Fatores que afetam a duração da gestação em Holsteins de Ontário. *Can J Anim Sci.* 1989;69(4):1083–6.

NARDONE A, RONCHI B, LACETERA N, BERNABUCCI U. Climate effects on productive traits in livestock. *Vet Res Commun.* 2006 Jan;30(1):75–81.

National Research Council, Committee on Animal Nutrition, Subcommittee on Dairy Cattle Nutrition. Nutrient requirements of dairy cattle: 2001. Washington, DC: National Academies Press; 2001.

NOGALSKI Z, PIWCZYŃSKI D. Association of length of pregnancy with other reproductive traits in dairy cattle. *Asian-Australas J Anim Sci.* 2012;25:22–27.

NORMAN HD, WRIGHT JR, KUHN MT, HUBBARD SM, COLE JB, VANRADEN PM. Genetic and environmental factors that affect gestation length in dairy cattle. *J Dairy Sci.* 2009 May;92(5):2259–2269.

NORMAN HD, WRIGHT JR, MILLER RH. Potential consequences of selection to change gestation length on performance of Holstein cows. 2011.

OLIVEIRA, K. R. ET AL. Differential average daily gain of pregnant Holstein × Gyr dairy heifers causes placental adaptations to support fetal growth and development. *Journal of Dairy Science*, v. 106, n. 5, p. 3701–3717, 2023.

OLSON KM, CASSELL BG, MCALLISTER AJ, WASHBURN SP. Dystocia, stillbirth, gestation length, and birth weight in Holstein, Jersey, and reciprocal crosses from a planned experiment. *J Dairy Sci.* 2009;92:6167–6175.

PAJOHANDE K, AMIRABADI FARAHANI T, FARSUNI NE. Increased incidence of reproductive disorders associated with short gestation length in Holstein dairy cows. *Theriogenology.* 2023 Jul 15;205:9-17.

PLASSE D, KOGER M, WARMICK AC. Reproductive behavior of *Bos indicus* females in a subtropical environment. III. Calving intervals, intervals from first exposure to conception, and intervals from conception. *J Anim Sci.* 1968 Jan;27(1):105–12.

PRIOR RL, LASTER DB. Development of the bovine fetus. *J Anim Sci.* 1979 Dec;48(6):1546–53. doi:10.2527/jas1979.4861546x.

PURFIELD DC, EVANS RD, CARTHY TR, BERRY DP. Genomic regions associated with gestation length detected using whole-genome sequence data differ between dairy and beef cattle. *Front Genet.* 2019 Nov 5;10:1068.

RAMÍREZ M, TESTA LM, LÓPEZ VALIENTE S, LATORRE ME, LONG NM, RODRIGUEZ AM, PAVAN E, MARESCA S. Maternal energy status during late gestation: Effects on growth performance, carcass characteristics and meat quality of steers progeny. *Meat Sci.* 2020 Jun;164:1–7.

RANGEL AHN, GUEDES PLC, ALBUQUERQUE RPF, NOVAIS LP, LIMA JÚNIOR DM. Intervalo entre partos e período de serviço de vacas Guzerá. *Rev Verde Agroecol Desenvolv Sustentável*. 2009;4:21–25.

RASCHIA MA, MAIZON DO, AMADIO AF, NANI JP, POLI MA. Quantitative trait loci exploration and characterization of gestation length in Holstein cattle. *Theriogenology*. 2024 Feb;215:43-49.

RATTRAY PV, ROBINSON DV, GARRETT WN, ASHMORE RC. Cellular changes in the tissues of lambs during fetal growth. *J Anim Sci*. 1975 Oct;40(5):783–9.

SARTORI, R.; HAUGHIAN, J. M.; SHAVER, R. D.; ROSA, G. J. M.; WILTBANK, M. C. Comparison of ovarian function and circulating steroids in estrous cycles of Holstein heifers and lactating cows. *Journal of Dairy Science*, v. 87, n. 4, p. 905–920, 2004

SILVA HM, WILCOX CJ, THATCHER WW, BECKER RB, MORSE D. Factors affecting days open, gestation length, and calving interval in Florida dairy cattle. *J Dairy Sci*. 1992 Jan;75(1):288–93.

SILVA HM, WILCOX CJ, THATCHER WW, BECKER RB, MORSE D. Factors affecting days open, gestation length, and calving interval in Florida dairy cattle. *J Dairy Sci*. 1992 Jan;75(1):288–93.

SOARES SRV, REIS RB, DIAS AN. Fatores de influência sobre o desempenho reprodutivo em vacas leiteiras. *Arq Bras Med Vet Zootec*. 2021 Mar;73(2):451–459.

STABENFELDT GH. Pregnancy and parturition. In: Cunningham JG, editor. *Textbook of Veterinary Physiology*. Philadelphia: W.B. Saunders; 1992. p. 457–66.

SYMONDS ME, SEBERT SP, BUDGE H. Nutritional regulation of fetal growth and implications for productive life in ruminants. *Anim*. 2010;4(7):1075–83.

TAO S, DAHL GE. Invited review: Heat stress effects during late gestation on dry cows and their calves. *J Dairy Sci*. 2013;96:4079–4093.

TAYLOR AR, MOHRHAUSER DA, PRITCHARD RH, UNDERWOOD KR, WERTZ-LUTZ AE, BLAIR DA. The influence of maternal energy status during mid-gestation on growth, cattle performance, and the immune response in the resultant beef progeny. *Prof Anim Sci.* 2016;32:389–99.

TOMASEK R, REZAC P, HAVLICEK Z. Environmental and animal factors associated with gestation length in Holstein cows and heifers in two herds in the Czech Republic. *Theriogenology.* 2017 Jan;87:100–107.

VAN SAUN RJ, SNIFFEN CJ. Nutritional management of the pregnant dairy cow to optimize health, lactation, and reproductive performance. *J Dairy Sci.* 2020;103(9):7649–63.

VIEIRA-NETO A, GALVÃO KN, THATCHER WW, SANTOS JEP. Association among gestation length and health, production, and reproduction in Holstein cows and implications for their offspring. *J Dairy Sci.* 2017 Apr;100(4):3166–3181.

WELLER, M. M. D. C. A. ET AL. Effect of maternal nutrition and days of gestation on pituitary gland and gonadal gene expression in cattle. *Journal of Dairy Science*, v. 99, n. 6, p. 4582–4593, 2016.

WILSON TB, FAULKNER DB, SHIKE DW. Influence of prepartum dietary on beef cow performance and calf growth and carcass characteristics. *Livest Sci.* 2016 Mar;184:21–7.

WILTBANK MC, SOUZA AH, CARVALHO PD, CUNHA AP, GIORDANO JO, FRICKE PM, BAEZ GM, DISKIN MG. Physiological and practical effects of progesterone on reproduction in dairy cattle. *Animal.* 2014;8:70–81.

WOLFENSON, D.; INBAR, G.; ROTH, Z.; KAIM, M.; BLOCH, A.; BRAW-TAL, R. Follicular dynamics and concentrations of steroids and gonadotropins in lactating cows and nulliparous heifers. *Theriogenology*, v. 62, n. 6, p. 1042–1055, 2004.