

# Programação fetal bovina: possíveis implicações na reprodução e na progênie

## *Bovine fetal programming: possible implications on reproduction and progeny*

 Fernanda Conceição Silva do Amorin<sup>1</sup>

 Jaci de Almeida<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Santa Úrsula – Botafogo/RJ

<sup>2</sup>Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo - Piracicaba/São Paulo

**Autor correspondente:**

Jaci de Almeida

E-mail: jaciveterinarioj@gmail.com

**Como citar este artigo:**

AMORIN, F.C.S; ALMEIDA, J.; **Programação fetal bovina: possíveis implicações na reprodução e na progênie.** Revista Saber Digital, v. 17, n.3, e20241707, set./dez., 2024.

**Data de Submissão:** 11/09/2024

**Data de aprovação:** 01/11/2024

**Data de publicação:** 12/11/2024



Esta obra está licenciada com uma licença  
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

**RESUMO: Introdução:** Apesar dos progressos na seleção genética, a fertilidade bovina ainda é insatisfatória. Este artigo examina fatores como a idade da mãe, produção de leite, saúde, nutrição e ambiente gestacional podem impactar permanentemente o feto, influenciando seu crescimento, morfologia e fertilidade futura. **Objetivo:** Realizar uma revisão integrativa da literatura para identificar e analisar os efeitos da programação fetal na eficiência produtiva e reprodutiva de bovinos na progênie. **Materiais e métodos:** Foram incluídos artigos originais, revisões sistemáticas e meta-análises publicados em periódicos científicos reconhecidos, escritos em português, espanhol, inglês, francês e russo que estivessem dentro da proposta da pesquisa. Foram excluídos estudos em duplicatas das bases de dados, financiados por indústrias farmacêuticas, filantrópicas e estudos qualitativos transversais, além da relevância da revista publicada. **Resultados e discussão:** A programação fetal é influenciada pelas variações nos níveis de nutrientes durante a fase peripuerperal, afetando o desenvolvimento da progênie. Esses efeitos podem ter implicações de longo prazo na eficiência reprodutiva e produtiva das gerações subsequentes de animais. **Conclusão:** Os estudos sobre programação fetal são recentes e revelam-se promissores, embora ainda apresentem resultados contraditórios e dispersos, o que dificulta a compreensão e a correlação com a produtividade da progênie. É imperativo conduzir pesquisas adicionais sobre os efeitos da restrição e suplementação nas gerações F2 e F3 para avaliar os impactos a longo prazo na progênie.

**Palavras-chave:** Adipogênese; Miogênese; Restrição alimentar; Eficiência produtiva.

**Introduction:** Despite progress in genetic selection, bovine fertility is still unsatisfactory. This article examines how factors such as the mother's age, milk production, health, nutrition and gestational environment can permanently impact the fetus, influencing its growth, morphology and future fertility. **Objective:** To carry out an integrative review of the literature to identify and analyze the effects of fetal programming on the productive and reproductive efficiency of cattle in the progeny. **Materials and methods:** Original articles, systematic reviews and meta-analyses published in recognized scientific journals, written in Portuguese, Spanish, English, French and Russian that were within the research proposal were included. Studies in duplicates of the databases, financed by pharmaceutical and philanthropic industries and cross-sectional qualitative studies were excluded, in addition to the relevance of the published

journal. **Results and discussion:** Fetal programming is influenced by variations in nutrient levels during the peripuerperal phase, affecting the development of the progeny. These effects can have long-term implications for the reproductive and productive efficiency of subsequent generations of animals. **Conclusion:** Studies on fetal programming are recent and appear to be promising, although they still present contradictory and scattered results, which makes understanding and correlation with progeny productivity difficult. It is imperative to conduct additional research into the effects of restriction and supplementation in the F2 and F3 generations to assess long-term impacts on progeny.

**Keywords:** Adipogenesis; Myogenesis; Food restriction; Productive efficiency.

## INTRODUÇÃO

O Brasil detém o maior contingente de gado comercial do mundo, totalizando 234,4 milhões de cabeças (IBGE, 2023). Além disso, o país ocupa a posição de segundo maior exportador global de carne, com uma participação de 17,87%, sendo superado apenas pelos Estados Unidos, que se destacam como o principal produtor mundial, respondendo por 20,78% do volume total (ESTADOS UNIDOS, 2023). O Brasil exporta carne para 150 nações, com uma produção que alcança 2,26 milhões de toneladas e gera uma receita anual de US\$ 12,97 bilhões (ABIEC, 2023). Esta produção excede a demanda interna em 27,9%, refletindo um consumo médio anual de 36,7 kg per capita (IBGE, 2023; FAOSTAT, 2023).

O incremento da eficiência na atividade pecuária de corte resulta primordialmente do avanço no melhoramento genético, uma prática na qual intervenções humanas são empregadas para direcionar as características desejadas nos animais (Bertolini e Bertolini, 2019). Esta prática evoluiu ao longo do tempo, culminando nas mais recentes pesquisas sobre programação fetal, que destacam o surgimento de desafios relacionados ao aumento da baixa produtividade neste setor.

O conceito de programação fetal, também denominado programação do desenvolvimento, teve origem a partir de observações epidemiológicas na espécie humana. Estas observações apontaram que estímulos ambientais durante a gestação resultaram em alterações longevas no desenvolvimento, crescimento e susceptibilidade a doenças em crianças cujas mães foram subnutridas durante a fome holandesa (Barker *et al.*, 1993). Para Nathanielsz *et al.* (2007), a programação fetal é uma resposta a um desafio específico para o organismo do mamífero durante

uma crítica janela de tempo de desenvolvimento que altera tanto qualitativamente, quanto quantitativamente a trajetória do desenvolvimento, resultando em efeitos persistentes. Recentemente, foram iniciados estudos que relacionam a programação fetal ao desempenho animal na pecuária e em outras espécies experimentais.

Vários são os fatores que influenciam as necessidades nutricionais dos bovinos, incluindo raça, estação do ano e função fisiológica (NRC, 2000). Com base no exposto, as respostas à programação fetal podem manifestar-se como respostas negativas do ambiente. Isso pode ser atribuído a várias causas, incluindo: 1) a criação de matrizes jovens que competem por nutrientes com os sistemas fetais em rápido crescimento; 2) o aumento da incidência de fetos múltiplos ou ninhadas grandes; 3) a seleção para aumentar a produção de leite, que compete por nutrientes com a crescente demanda energética proveniente do crescimento fetal e placentário; ou 4) a criação de bovinos durante períodos de altas temperaturas ambientais, com gestações ocorrendo durante períodos de pastagem pobre (Wu *et al.*, 2006; Reynolds *et al.*, 2010).

Pesquisas têm documentado ocorrências de comprometimento na nutrição materna durante a gestação, o que resulta em aumento da mortalidade neonatal, disfunções intestinais e respiratórias, distúrbios metabólicos, redução das taxas de crescimento pós-natais e deterioração da qualidade da carne (Wu *et al.*, 2006).

Segundo Du *et al.* (2013), a ingestão de nutrientes pela vaca gestante está correlacionada com a produtividade da prole na idade adulta. Numerosos estudos rigorosamente controlados demonstraram que praticamente todos os sistemas orgânicos e funções metabólicas são influenciados pela programação do desenvolvimento em bovinos e outras espécies de criação (Reynolds *et al.*, 2019).

Apesar dos progressos nas pesquisas, ainda há incertezas quanto aos efeitos da programação fetal sobre a formação e o subsequente desempenho reprodutivo da progênie. Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi, através de uma revisão de literatura integrativa, identificar e analisar os efeitos da programação fetal na eficiência reprodutiva e produtiva de bovinos, com foco em seus efeitos nas gerações subsequentes. Outrossim, a variabilidade entre animais e os diferentes tipos de manejo dificultam a quantificação precisa desses efeitos, tornando o estudo desafiador.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa bibliográfica foi conduzida com o intuito de aprofundar o entendimento acerca dos impactos da nutrição materna durante a gestação na formação e qualidade da descendência. Para tal fim, foram examinadas diversas publicações científicas disponíveis em plataformas de pesquisa acadêmica amplamente reconhecidas, incluindo a Scientific Electronic Library, o Portal de Periódicos da Capes, o Science Direct, PubMed e o Google. Os critérios de busca adotados para a constituição da base de dados abarcaram os termos: "Programação fetal", "nutrição materna na gestação" e "desempenho da progênie". Manuscritos considerados demasiadamente antigos ou que não atendiam aos objetivos específicos da revisão bibliográfica foram excluídos do escopo deste estudo.

Após a leitura dos materiais encontrados, arquivos nos idiomas português, espanhol, inglês, francês e russo com relevância no tema a ser discutido foram pré-selecionados e posteriormente utilizados como base de dados na escrita da revisão. Os critérios para seleção dos arquivos foram a data de publicação dentro do período estipulado, preferencialmente os mais relevantes, de acesso livre para a comunidade e a coerência com o tema estudado. Por conta dessas descrições, foram encontrados centenas de artigos, sendo analisados os títulos, resumos e resultados. Logo, foram empregados filtros a partir de: conter assuntos principais (programação fetal, nutrição materna na gestação e desempenho da progênie), disponibilidade da versão ampla e completa, conter as palavras-chave em português, espanhol, inglês, francês e russo das últimas décadas.

Os artigos excluídos foram determinados pela duplicação das bases de dados, por serem financiados por indústrias farmacêuticas e filantrópicas ou pelas naturezas de metodologia, como: estudos qualitativos e estudos apenas com relatórios transversais, além da relevância da revista publicada.

## RESULTADOS

Foram utilizados cinquenta (50) artigos que se enquadraram em todos os critérios de inclusão, descrito na metodologia, e encontrados em revistas e eventos renomados da área afim.

O desenvolvimento fetal está diretamente relacionado a nutrição materna durante a gestação, principalmente quando se fala em injúrias ao útero gestante. Um

exemplo disso, pode ser observado quando em casos de subnutrição causando condições não ideais ao ambiente uterino materno, o que pode influenciar positiva ou negativamente o desenvolvimento de órgãos e tecidos fetais e levar a impactos ao longo da vida no desempenho da progênie (Broadhead *et al.*, 2019).

Zago *et al.* (2020) reportaram em sua meta-análise, que a progênie de vacas que consumiram energia e proteína acima das exigências de manutenção apresentaram maior ganho de peso na terminação, e produziram uma carcaça com maior teor de marmoreio e gordura de cobertura, aspectos apreciados pelos consumidores.

Segundo Hess (2008), durante o período compreendido entre o primeiro e o quinto mês da gestação, ocorre o desenvolvimento, vascularização e crescimento placentário, destacando-se a importância do aumento gradual do fluxo sanguíneo para o adequado desenvolvimento e crescimento do feto.

Reynolds e Redmer (1995) acrescentaram que há uma forte correlação entre o crescimento do sistema vascular útero-placentário e o ganho de peso no terço final da gestação, pois restrições nutricionais neste período impedem que o feto absorva as quantidades adequadas de nutrientes e oxigênio para se desenvolver. O crescimento fetal ao longo dos três trimestres gestacionais, revela que apenas 25% do crescimento ocorre nos primeiros terços, enquanto a maior parte do crescimento ocorre no terço final da gestação, representando 75% do total (EducaPoint, 2018).

Conforme observado por Mendes (2016), animais submetidos a restrições nutricionais durante os estágios iniciais da gestação apresentaram uma diminuição na capacidade de fornecer o aporte nutricional adequado ao feto, bem como de proporcionar a quantidade necessária de oxigênio para seu pleno desenvolvimento, resultando em prejuízos no crescimento durante o terço final da gestação.

Em seu estudo, Du *et al.* (2010) destacaram que a miogênese primária tem seu início por volta do primeiro mês de gestação, estendendo-se até meados do terceiro mês. Por outro lado, a miogênese secundária é iniciada logo após o segundo mês, prolongando-se até o oitavo mês, enquanto a hipertrofia muscular fetal é especialmente pronunciada no terço final da gestação, juntamente com o processo de adipogênese.

Segundo Nascimento *et al.* (2018), o tecido muscular exibe dois modos distintos de crescimento. Durante o período fetal, é possível obter ganhos por meio da hiperplasia, que consiste no aumento do número de células por divisão celular, sendo

esta forma de crescimento restrita a esse período específico. Posteriormente, o músculo apresenta ganhos apenas por meio da hipertrofia muscular, caracterizada pelo aumento no tamanho da fibra muscular, resultante do acúmulo de proteínas no interior do tecido muscular. É pertinente ressaltar que uma restrição de nutrientes entre o segundo e o sétimo mês acarretará uma redução no número de fibras musculares.

Quanto a nutrição materna na gestação e o desempenho da progênie, em linhas gerais, a grande maioria dos bovinos destinados à produção de carne são criados em sistemas extensivos e estão sujeitos a flutuações sazonais na disponibilidade de nutrientes, conforme observado por Taylor *et al.* (2018). Na pecuária leiteira, uma dinâmica distinta se apresenta, caracterizada pela criação dos animais em três modalidades de sistemas: intensivo, semi-intensivo e extensivo. Mesmo nos sistemas de criação mais extensivos, as vacas leiteiras são submetidas a algum nível de suplementação, seja durante ou após o processo de ordenha. Em algumas circunstâncias, esses suplementos são oferecidos apenas durante os períodos de estiagem, quando a disponibilidade de pastagem é reduzida, o que inegavelmente mitigaria o impacto negativo no desenvolvimento da prole, em comparação com os bovinos destinados à produção de carne.

Segundo Nissen *et al.* (2003); Greenwood e Cafe (2007); Duarte *et al.* (2014); Gionbelli *et al.* (2018) e Klein *et al.* (2021) tanto a subnutrição como a sobrenutrição materna podem desencadear alterações no desenvolvimento, metabolismo e fisiologia da prole ao longo da vida.

Em outro estudo, Reynolds e Caton (2012) complementaram que a programação do desenvolvimento, por vezes denominada programação fetal, abrange os fatores que influenciam o crescimento e o desenvolvimento fetal, resultando em alterações de longo prazo na estrutura dos órgãos (como variações no número de néfrons renais, alterações no número ou tamanho das ilhotas pancreáticas, ou variações no número de miofibras) e na função dos órgãos, ou em ambos os aspectos.

Dentre os diversos fatores que influenciam o ambiente uterino durante a gestação, a nutrição emerge como um dos mais significativos (Klein *et al.*, 2021; 2023). Conforme observado por Du *et al.* (2013), a ingestão de nutrientes pela vaca gestante está diretamente relacionada à produtividade da prole na vida adulta.



Estudos rigorosamente controlados demonstram que praticamente todos os sistemas orgânicos e funções metabólicas são impactados pela programação do desenvolvimento em bovinos de corte e em outras espécies de animais de criação (Reynolds *et al.*, 2019), incluindo também bovinos destinados à produção de leite.

Com base nas informações previamente discutidas, há uma variedade de influências da nutrição materna durante a gestação sobre o potencial produtivo da descendência. Portanto, pesquisas centradas na programação fetal demonstraram um grande potencial de expansão, considerando que, apesar da relevância dos achados, os resultados dos estudos ainda apresentam considerável divergência e dispersão. Essa disparidade dificulta a compreensão abrangente dos resultados para uma melhor associação com a produtividade da prole.

No tocante a programação fetal e a qualidade da carne, pesquisas têm evidenciado que dietas maternas inadequadas em bovinos de corte acarretam consequências adversas, como uma menor densidade populacional de fibras musculares (Marquez *et al.*, 2017; Costa *et al.*, 2021a), devido a modificações na expressão de mRNA de fatores reguladores miogênicos (Jennings *et al.*, 2016), os quais desempenham papéis essenciais na determinação, proliferação e diferenciação celular. Essas alterações resultam em um potencial reduzido de crescimento muscular (Costa *et al.*, 2021b), impactando o gasto energético do organismo na vida pós-natal, uma vez que o músculo esquelético é o principal consumidor de glicose (Mohammadabadi *et al.*, 2021). A menor hiperplasia das fibras musculares pode ser compensada por depósitos intramusculares de colágeno (Costa *et al.*, 2021a), potencialmente aumentando a tenacidade da carne (Fontes *et al.*, 2021). Ademais, insultos nutricionais pré-natais podem induzir alterações no metabolismo das fibras musculares, regulado por fatores de transcrição (Ramírez-Zamudio *et al.*, 2022) conhecidos como plasticidade metabólica do músculo esquelético (Aragão *et al.*, 2014), o que pode prejudicar a deposição de marmoreio (Marquez *et al.*, 2017). Portanto, a vigilância do ambiente gestacional se revela crucial para potencializar a eficiência na produção de carne.

Pesquisa de Du *et al.* (2010) indicam que a nutrição materna durante a gestação pode influenciar a qualidade da carne da descendência, pois pode afetar a diferenciação celular e a formação do tecido muscular esquelético. Em trabalho realizado no mesmo período Underwood *et al.* (2010) realizaram uma avaliação dos

impactos da dieta materna nas características da carcaça da descendência. Eles identificaram uma maior espessura de gordura na 12<sup>a</sup> costela em carcaças provenientes de vacas que foram alimentadas em pastagem nativa melhorada (1,51 vs. 1,11 cm), juntamente com um peso final superior dos novilhos (560,2 vs. 538,0 kg). Anteriormente, Larson *et al.* (2009) obtiveram maior escore de marmoreio na carne de novilhos filhos de vacas suplementadas no último trimestre de gestação. A gordura de marmoreio possui efeitos favoráveis sobre a maciez, palatabilidade e suculência da carne, fatores relevantes para a atração dos consumidores. Neste contexto, fica evidente através dos resultados encontrados, a importância da nutrição materna em relação aos efeitos transmissíveis para a progênie durante as diferentes fases da gestação.

Os efeitos da programação fetal na progênie segundo estudo de Wathes (2022), sugerem que a programação fetal durante a gestação pode alterar o tamanho, a forma e a composição corporal, as taxas de crescimento pós-natal, a estrutura dos órgãos, a função metabólica e a imunidade. Anteriormente, Klein *et al.* (2021) reportaram que alterações induzidas pela epigenética preparam o organismo para um ambiente pós-natal que se assemelha ao experienciado durante o período fetal. Ainda de acordo com os autores, a resposta produtiva dos indivíduos aos métodos de manejo é grandemente influenciada pelo sistema de criação adotado e pela capacidade de adaptação fisiológica dos animais.

Em uma investigação realizada por Moreira *et al.* (2019), foi examinado o impacto da suplementação proteica durante o terço final da gestação na descendência. Os resultados revelaram que não houve diferença significativa no peso ao nascimento entre os grupos estudados. No entanto, os animais cujas mães receberam suplementação apresentaram maior peso ao desmame. Embora as novilhas não tenham demonstrado maior precocidade, os animais suplementados exibiram uma taxa de prenhes aumentada, impactando diretamente na reprodução (Funston *et al.*, 2008). Além disso, foi constatado que um maior número de vacas atingiu a maturidade sexual antes da primeira estação de monta quando eram descendentes de vacas suplementadas no terço final da gestação.

No tocante aos machos, Alejandro *et al.* (2002) verificaram perdas na produtividade, relatando que a má nutrição da mãe durante a gestação pode



influenciar no desenvolvimento dos testículos, podendo impedir o crescimento e comprometer a espermatogênese na fase adulta.

De acordo com Godfrey e Barker (2000), as vacas descendentes de matrizes que passaram por algum tipo de subnutrição durante o período gestacional, mostraram baixo desenvolvimento e produtividade, além disso, encontravam-se mais suscetíveis a doenças, inclusive as metabólicas.

Com base nas informações apresentadas, torna-se claro que há uma transmissão das características reprodutivas e produtivas ao longo das gerações, o que destaca a relevância da nutrição para as matrizes e reprodutores, influenciando diretamente na resposta expressa pela descendência. Este fenômeno ressalta a necessidade de considerar a nutrição como um aspecto fundamental para o desenvolvimento de animais, tornando-os cada vez mais eficientes.

Segundo Klein *et al.* (2021) o desempenho da progênie na vida pós-natal está fortemente influenciado por alterações comportamentais, sejam relacionadas com as atividades de interação social, ou atividades de consumo alimentar na vida adulta.

Fatores como alterações hormonais também ajudam a explicar mudanças comportamentais na progênie. LeMaster *et al.* (2017) reportaram ter obtido maiores níveis de leptina e cortisol ao parto nos bezerros nascidos de vacas submetidas à restrição nutricional, frente aos bezerros nascidos de vacas suplementadas na gestação.

Miguel-Pacheco *et al.* (2019) ao avaliarem as alterações comportamentais em bovinos de corte, relataram que a restrição protéica da dieta materna durante o período pré-concepção (ou seja, 60 dias antes da concepção), aumenta o peso ao nascer da prole e o comportamento de sucção do leite, e comportamento materno de permanecer em pé após o parto. Esses achados podem indicar um mecanismo compensatório pós-parto que suporta a sobrevivência neonatal: aumento no apetite. Adicionalmente, DeCapo *et al.* (2019) relataram em sua revisão de literatura que a deficiência de proteína materna e manipulação de ácido graxo exagerada aumentam a resposta de medo na prole, com exposição a ameaças sustentadas induzindo ao desespero comportamental em contato com uma pessoa. Assim, ainda há muito a ser estudado sobre a transmissão de características dos progenitores para a prole e os reais efeitos que isso pode ocasionar ao longo da vida dos bezerros e mesmo através das futuras gerações.

Os impactos da programação fetal na fertilidade da progênie estão relacionados a exposição materna a um ambiente desfavorável durante a gestação e pode não apenas afetar diretamente o feto, mas também pode incidir sobre as células germinativas que se formam durante o desenvolvimento fetal, potencialmente influenciando a fertilidade da geração F2 (Morgan e Watkins, 2019).

Na espécie bovina, as novilhas geralmente dão cria pela primeira vez com cerca de 60% de seu peso corporal maduro, muito antes de atingirem o desenvolvimento ponderal pleno (Whates *et al.*, 2008). Elas então parem pela primeira vez com cerca de 90% do peso adulto, portanto o crescimento deve continuar na primeira lactação (Coffey *et al.*, 2006). Mães imaturas, incluindo humanos adolescentes (Frisancho *et al.*, 1985) e ovelhas jovens (Wallace, 2019), repartem os nutrientes preferencialmente para o seu próprio crescimento contínuo, às custas do feto em desenvolvimento, associado a uma redução no tamanho da placenta.

Mossa *et al.* (2013) mostraram que a restrição alimentar durante o início da gestação em novilhas de corte resultou em descendentes com reserva ovariana diminuída, conforme indicado por uma redução na contagem de folículos antrais, avaliada por ultrassonografia ovariana entre 7 e 86 semanas de idade.

Segundo Wathes (2022) os criadores têm se empenhado em reverter as tendências adversas na fertilidade bovina, que foram ocasionadas pela ênfase excessiva nas características de produção no passado. No entanto, esses esforços resultaram em melhorias modestas nos últimos anos.

## DISCUSSÃO

Diante das revisões analisadas sobre a programação fetal nos 50 artigos selecionados, ficou claro que animais submetidos a restrições nutricionais durante os estágios peripuerperal apresentaram uma diminuição na capacidade de fornecer o aporte nutricional adequado ao feto (Mendes, 2016). Nesse contexto, o fornecimento de suplementação, independentemente do sistema de criação em que os animais estejam sendo criados (intensivo, semi-intensivo ou extensivo), é suficiente para mitigar o impacto negativo no desenvolvimento da prole.

De acordo com Underwood *et al.* (2010), os impactos da dieta materna também podem ser observados nas características da carcaça. Foi possível verificar uma

maior espessura de gordura na 12<sup>a</sup> costela em carcaças provenientes de vacas alimentadas em pastagens nativas melhoradas.

Klein *et al.* (2021, 2023) também verificaram que, entre os diversos fatores que influenciam o ambiente uterino durante a gestação, a nutrição se destaca como um dos mais significativos.

Outros estudos já evidenciaram que dietas maternas inadequadas em bovinos de corte acarretam consequências adversas, como uma menor densidade populacional de fibras musculares (Marquez *et al.*, 2017; Costa *et al.*, 2021a). Estas fibras desempenham papéis essenciais na determinação, proliferação e diferenciação celular, e tais alterações resultam em um potencial reduzido de crescimento muscular (Costa *et al.*, 2021b), impactando o gasto energético do organismo na vida pós-natal.

Além disso, diversos estudos também indicaram os prejuízos causados por insultos nutricionais pré-natais, os quais podem induzir alterações no metabolismo das fibras musculares (Ramírez-Zamudio *et al.*, 2022), prejudicando, inclusive, a deposição de marmoreio na carcaça (Marquez *et al.*, 2017).

No que diz respeito ao aspecto reprodutivo, a pesquisa de Funston *et al.* (2008) já apontava o impacto da programação fetal na descendência, revelando que novilhas provenientes de vacas suplementadas apresentavam uma taxa de prenhez aumentada. O estudo também constatou que um maior número de vacas era capaz de atingir a maturidade sexual antes da primeira estação de monta quando eram descendentes de vacas suplementadas no terço final da gestação.

Entre os vários efeitos observados, destaca-se nos machos a ocorrência de subdesenvolvimento testicular, o que certamente poderia comprometer a espermatogênese na fase adulta do touro (Alejandro *et al.*, 2002). Posteriormente, Mossa *et al.* (2013) também verificaram que a restrição alimentar durante o início da gestação em novilhas de corte resultava em descendentes com reserva ovariana diminuída.

Em relação ao aspecto patológico, Godfrey e Barker (2000) observaram que vacas descendentes de matrizes que passaram por algum tipo de subnutrição durante o período da gestação apresentaram baixo desenvolvimento e produtividade. Além disso, essas vacas mostraram-se mais suscetíveis a doenças metabólicas.

Com base nas informações apresentadas, torna-se claro que há uma transmissão das características reprodutivas e produtivas ao longo das gerações,

destacando a relevância da nutrição para as matrizes e reprodutores e sua influência direta na resposta expressa pela descendência. Esse fato foi confirmado pela pesquisa de Morgan e Watkins (2019), na qual os autores observaram que a exposição materna a um ambiente desfavorável durante a gestação pode não apenas afetar diretamente o feto, mas também incidir sobre as células germinativas que se formam durante o desenvolvimento fetal, potencialmente influenciando a fertilidade da geração F2.

As evidências revisadas anteriormente oferecem um suporte substancial ao conceito de origem fetal de doenças em adultos, demonstrando que eventos precoces na vida dos fetos podem influenciar o fenótipo do bezerro ao nascimento e, conseqüentemente, afetar a fertilidade.

## **CONCLUSÃO**

A suplementação materna durante o período puerperal melhora a eficiência produtiva da progênie, resultando em maiores ganhos de peso, redução na idade de abate e maturidade sexual atingida mais precocemente.

O estudo sobre programação fetal na produção animal ainda é muito recente. A maioria dos trabalhos avalia apenas a suplementação nas diferentes fases da gestação. É necessário realizar mais estudos sobre os efeitos da restrição, bem como da suplementação, nas gerações F2 e F3 para verificar realmente os efeitos na progênie a longo prazo.

Apesar de não se conhecerem exatamente os mecanismos reais, a programação fetal promove adaptações na formação tecidual dos animais e alterações funcionais que favorecem a adaptação da progênie em diferentes sistemas de produção após o nascimento.

Em resumo, a nutrição materna durante a gestação impacta significativamente o potencial produtivo dos descendentes. Embora os estudos sobre programação fetal sejam promissores, os resultados ainda são contraditórios e dispersos, o que dificulta a compreensão e a relação com a produtividade da progênie.

## **DECLARAÇÃO DE CONFLITOS DE INTERESSE**

Os autores declararam não haver o conflito de interesses.

## SUPORTE FINANCEIRO

O financiamento da pesquisa foi realizado pelos próprios pesquisadores envolvidos.

## CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

**Fernanda Conceição Silva do Amorin:** Conceitualização, Revisão de Literatura, Metodologia da Pesquisa, Levantamento dos Dados da Pesquisa, Redação Inicial, Redação Final do Artigo e Correção; **Jaci de Almeida:** Conceitualização, Revisão de Literatura, Levantamento dos Dados da Pesquisa, Redação Final do Artigo e Correção, Formatação nas Normas da Revista, Submissão no Site e Autor para Correspondência.

## REFERÊNCIAS

ABIEC - Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne. **Beef Report: perfil da pecuária no Brasil 2023.** Disponível em: <https://www.abiec.com.br/catpub/impessos/>. Acessado em: 15 set. 2023.

ALEJANDRO, B.; PEREZ, R.; PEDRANA, G. Low maternal nutrition during pregnancy reduces the number of Sertoli cells in the newborn lamb. **Reproduction, Fertility and Development**. v.14, p.333-337, 2002.

ARAGÃO, R.S.; GUZMÁN-QUEVEDO, O.; PÉREZ-GARCÍA, G.; MANHÃES-DE-CASTRO, R.; BOLAÑOS-JIMÉNEZ, F. Maternal protein restriction impairs the transcriptional metabolic flexibility of skeletal muscle in adult rat offspring. **British Journal of Nutrition**, v.112, p.328-337, 2014.

BARKER, D.J.; MARTYN, C.N.; OSMOND, C.; HALES, C.N.; FALL, C.H. Growth in utero and serum cholesterol concentrations in adult life. **British Medical Journal**, v.307, n.6918, p.1524-1527, 1993.

BERTOLINI, M.; BERTOLINI, L.R. Advances in reproductive technologies in cattle: from artificial insemination to cloning. **Revista de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.56, p.184-194, 2019.

BROADHEAD, D.; MULLINIKS, J.T.; FUNSTON, R.N. Development programming in a beef production system. **Veterinary Clinics Food Animal**, v.35, n.1, p.379-390, 2019.

COFFEY, M.P.; HICKEY, J.; BROTHERSTONE, S. Genetic aspects of growth of Holstein-Friesian dairy cows from birth to maturity. **Journal of Dairy Science**. v.89, p.322-329, 2006.

COSTA, T.C.; DU, M.; NASCIMENTO, K.B.; GALVÃO, M.C.; MENESES, J.A.M.; SCHULTZ, E.B.; GIONBELLI, M.P.; DUARTE, M.S. Skeletal muscle development in postnatal beef cattle resulting from maternal protein restriction during mid-gestation. **Animals**, v.11, p.860, 2021a.

COSTA, T.C.; GIONBELLI, M.P.; DUARTE, M.S. Fetal programming in ruminant animals: understanding the skeletal muscle development to improve meat quality. **Animal Frontiers**, v.11, p.66-73, 2021b.

DECAPO, M.; THOMPSON, J.R.; DUNN, G.; SULLIVAN, E.L. Perinatal nutrition and programmed risk for neuropsychiatric disorders: A focus on animal models. **Biological Psychiatry**, v.85, n.2, p.122-134, 2019.

DU, M.; HUANG, Y.; DAS, A.K.; YANG, Q.; DUARTE, M.S.; MODSON, M.V.; ZHU, M.J. Manipulating mesenchymal progenitor cell differentiation to optimize performance and carcass value of beef cattle. **Journal Animal Science**, v.91, n.3, p.1419-1427, 2013.

DU, M.; TONG, J.; ZHAO, J.; UNDERWOOD, K.R.; ZHU, M.; FORD, S.P.; NATHANIELSZ, P.W. Fetal programming of skeletal muscle development in ruminant animals. **Journal of Animal Science**, Champaign, v.88 (E. Suppl.), p.51-60, 2010.

DUARTE, M.S.; GIONBELLI, M.P.; PAULINO, P.V.R.; SERÃO, N.V.L.; NASCIMENTO, C.S.; BOTELHO, M.E.; MARTINS, T.S.; FILHO, S.C.V.; DODSON, M.V.; GUIMARÃES, S.E.F.; DU, M. Maternal overnutrition enhances mRNA expression of adipogenic markers and collagen deposition in skeletal muscle of beef cattle fetuses. **Journal of Animal Science**, v.92, p.3846-3854, 2014.

EDUCAPOINT. Programação fetal: por que é importante entender? 2018. Disponível em: <https://www.milkpoint.com.br/colunas/educapoint/programacao-fetal-por-que-e-importante-entender-210295/>. Acessado em: 15.05.2024.

ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. Foreign Agricultural Service. **Production, supply and distribution: custom query**. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/advQuery>. Acesso em: 15 set. 2023.

FAOSTAT. Crops and livestock **products**. 2023. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>. Acessado: 15 set.2023.

FONTES, M.M.S.; COSTA, T.C.; LOPES, M.M.; SPUZA, R.O.; CARNEIRO, L.S.; PAULINO, P.V.R.; CHIZZOTTI, M.L.; SILVA, F.F.; SERÃO, N.V.L.; DUARTE, M.S. Intramuscular collagen characteristics and expression of related genes in skeletal muscle of cull cows receiving a high-energy diet. **Meat Science**, v.177, p.108495, 2021.

FRISANCHO, A.R.; MATOS, J.; LEONARD, W.R.; YAROCH, L.A. Developmental and nutritional determinants of pregnancy outcome among teenagers. **American Journal of Physical Anthropology**, v.66, p.247-261, 1985.



FUNSTON, R.N.; MARTIN, J.L.; ADAMS, D.C.; LARSON, D.M. Effects of winter grazing system and supplementation during late gestation on performance of beef cows and progeny. Proceedings, Western Section, **American Society of Animal Science**, v.59, p.102-105, 2008.

GIONBELLI, T.R.S.; VELOSO, C.M.; ROTTA, P.P.; VALADARES FILHO, S C.; CARVALHO, B.C.; MARCDES, M.I.; CUNHA, C.S.; NOVAES, M.A.S.; PREZOTTO, L.D.; DUARTE, M.S. GIONBELLI, M.P. Foetal development of skeletal muscle in bovines as a function of maternal nutrition, foetal sex and gestational age. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, v.102, p.545-556, 2018.

GODFREY, K.M.; BARKER, D.J. Fetal nutrition and adult disease. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v.71, n.5, p.1344-1352, 2000.

GREENWOOD, P.L.; CAFE, L.M. Prenatal and pre-weaning growth and nutrition of cattle: long-term consequences for beef production. **Animal**, v.1, p.1283-1296 2007.

HESS, B.W. Impacto da nutrição maternal no desempenho do bezerro. In: XII Curso Novos Enfoques na Produção e Reprodução de Bovinos, 2008, Uberlândia. Resumos: **Novos Enfoques na Produção e Reprodução de Bovinos - Corte**, p.1-14, 2008.

IBGE. Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA. **Pesquisa da Pecuária Municipal: tabela 3939: efetivo dos rebanhos, por tipo de rebanho. 2022.** Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/3939>. Acesso em: 15 set. 2023.

JENNINGS, T.D.; GONDA, M.G.; UNDERWOOD, K.R.; WERTZ-LUTZ, A.E.; BLAIR, A.D. The influence of maternal nutrition on expression of genes responsible for adipogenesis and myogenesis in the bovine fetus. **Animal**, v.10, p.1697-170, 2016.

KLEIN, J.L.; ADAMS, S.M.; ALVES FILHO, D.C.; BRONDANI, I.L.; PIZUTTI, L. Â.D. Effects of maternal nutrition in the final third of gestation on performance and body composition of progeny at slaughter. **Brazilian Animal Science**, v.24, p.1-7, 2023.

KLEIN, J.L.; ADAMS, S.M.; ALVES FILHO, D.C.; BRONDANI, I.L.; PIZUTTI, L. Â.D.; ANTUNES, D.P.; POLETTO, V.; KARSTEN, M. S.; BEM, P.H.T.; MELLO, D.A.S. Fetal programming and the consequences on progeny development - a review. **Research, Society and Development**, v.10, n.12, p. 1-11, 2021.

LARSON, D.M.; MARTIN, J.L.; ADAMS, D.C.; FUNSTON, R.N. Winter grazing system and supplementation during late gestation influence performance of beef cows and steer progeny. **Journal Animal Science**, v.87, p.1147-1155, 2009.

LEMASTER, C.T.; TAYLOR, R.K.; RICKS, R.E.; LONG, N.M. The effects of late gestation maternal nutrient restriction with or without protein supplementation on endocrine regulation of newborn and postnatal beef calves. **Theriogenology**, v.87, p.64-71, 2017.

MARQUEZ, D.C.; PAULINO, M.F.; RENNÓ, L.N.; VILLADIEGO, F.C.; ORTEGA, R.M.; MORENO, D.S.; MARTINS, L.S.; DE ALMEIDA, D.M.; GIONBELLI, M.P.; MANSO, M.R.; MELO, L.P.; MOURA, F.H.; DUARTE, M.S. Supplementation of grazing beef cows during gestation as a strategy to improve skeletal muscle development of the offspring. **Animal**, v.11, p.2184-2192, 2017.

MENDES, L.C. **O efeito da nutrição materna sobre o desenvolvimento fetal e o seu impacto na constituição da carcaça bovina.** Porto Alegre Curso de Veterinária. Monografia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 33f., 2016.

MIGUEL-PACHECO, G.G.; PERRY, V.E.A., HERNADEZ-MENDRANO, J.H.; WAPENAAR, W.; KEISLER, D. H.; VOIGT, J.P. Low protein intake during the preconception period in beef heifers affects offspring and maternal behaviour. **Applied Animal Behaviour Science**, v.215, n.1, p.1-6, 2019.

MOHAMMADABADI, M.; BORDBAR, F.; JENSEN, J.; DU, M. Key genes regulating skeletal muscle development and growth in farm animals. **Animals**, v.11, p.835, 2021.

MOREIRA, E.M.; NETO, J.A.F.; FERRAZ JUNIOR, M.V.C.; MELLO, R.R.C.; ANDRADE, J.S.; SILVA, NUNES, V.R.R. Programação fetal e efeito da suplementação pré-parto sobre o desempenho produtivo e reprodutivo da progênie: Revisão. **PUBVET**, v.13, n.4, p.1-7, Abr., 2019.

MORGAN, H. L.; WATKINS, A.J. Transgenerational impact of environmental change. **Experimental Medicine and Biology**, v.1200, p.71-89, 2019.

MOSSA, F.; CARTER, F.; WALSH, S.W.; KENNY, D.A.; SMITH, G.W.; IRELAND, J.L.; HILDEBRANDT, T.B.; LONERGAN, P.; IRELAND, J.J.; EVANS, A.C. Maternal undernutrition in cows impairs ovarian and cardiovascular systems in their offspring. **Biology of Reproduction**, v.88, art.92, p.1-9, 2013.

NASCIMENTO, K.B.; FARIA, A.M.; DUARTE, M.S.; GIONBELLI, M.P. 2018 **Programação fetal e o desempenho do gado de corte.** Disponível em: <<https://www.portaldbo.com.br/programacao-fetal-e-o-desempenho-do-gado-de-corte/>>. Acessado em: 15/03/2024.

NATHANIELSZ, P.W.; POSTON L.; TAYLOR, P.D. In utero exposure to maternal obesity and diabetes: Animal models that identify and characterize implications for future health. **Clinics in Perinatology**, n.34, p.515-526, 2007.

NISSEN, P.M.; DANIELSEN, V.O.; JORGENSEN, P.F.; OKSBJERG, N. Increased maternal nutrition of sows has no beneficial effects on muscle fiber number or postnatal growth and has no impact on the meat quality of the offspring. **Journal of Animal Science**, v.81, p.3018-3027, 2003.

NRC. Nutrient Requirements of Beef Cattle. 7th Ed. Natl. Acad. Press, Washington, DC., 2000.

RAMÍREZ-ZAMUDIO, G.D.; CRUZ, W.F.G.; SCHOONMAKER, J.P.; RESENDE, F.D.; SIQUEIRA, G.R.; MACHADO NETO, O.R.; GIONBELLI, T.R.S.; TEIXEIRA, P.D.; RODRIGUES, L.M.; GIONBELLI, M.P.; LADEIRA, M.M. Effect of rumen-protected fat on performance, carcass characteristics and beef quality of the progeny from Nellore cows fed by different planes of nutrition during gestation. **Livestock Science**, v.258, p.104851, 2022.

REYNOLDS, L.P.; BOROWICZ, P.P.; CATON, J.S.; CROUSE, M.S.; DAHLEN, C.R.; WARD, A.K. Programming of Fetal Growth and Development. **Veterinary Clinics Food Animal**, v.35, n.2, p.229-247, 2019.

REYNOLDS, L.P.; CATON, J.S. Role of the pre- and post-natal environment in developmental programming of health and productivity. **Molecular and Cellular Endocrinology**, v.354, n.1, p.54-59, 2012.

REYNOLDS, L.P.; BOROWICZ, P.P.; CATON, J.S.; VONNAHME, K.A.; LUTHER, J.S.; HAMMER, C.J MADDOCK CARLIN, K.R.; GRAZUL-BILSKA, A.T.; REDMER, D.A. Developmental programming: The concept, large animal models, and the key role of uteroplacental vascular development. **Journal of Animal Science**, v.88, (Suppl.13), p.61-72, 2010.

REYNOLDS, L.P.; REDMER, D.A. Utero-placental vascular development and placental function. **Journal of Animal Science**, v.73, n.6, p.1839-1851, 1995.

TAYLOR, R.K.; LEMASTER, C.T.; MANGRUN, K.S.; RICKS, R.E.; LONG, N.M. Effects of maternal nutrient restriction during early or mid-gestation without realimentation on maternal physiology and foetal growth and development in beef cattle. **Animal**, v.12, n.1, p.312-321, 2018.

UNDERWOOD, K.R.; TONG, J.F.; PRICE, P.L.; ROBERTS, A.J.; GRINGS, E. E. Nutrition during mid to late gestation affects growth, adipose tissue deposition, and tenderness in cross-bred beef steers. **Meat Science**, v.86, p.588-593, 2010.

WALLACE, J.M. Competition for nutrients in pregnant adolescents: Consequences for maternal, conceptus and offspring endocrine systems. **Journal of Endocrinology**, v.242, p.1-19, 2019.

WATHES, D.C. Developmental programming of fertility in cattle - Is it a cause for concern? **Animals**, v.12, p.1-34, 2022.

WATHES, D.C.; BRICKELL, J.S.; BOURNE, N.E.; SWALI, A. Factors influencing heifer survival and fertility on commercial dairy farms. **Animal**, v.2, p.1135-1143, 2008.

WU, G.; BAZER, F.W.; WALLACE, J.M.; SPENCER, T.E. Board invited review. Intrauterine growth retardation: Implications for the animal sciences. **Journal of Animal Science**, v.84, p.2316-2337, 2006.

ZAGO, D.; CANOZZI, M.E.A.; BARCELLOS, J.O.J. Pregnant beef cow's nutrition and its effects on postnatal weight and carcass quality of their progeny. **Plos One**, v.15, n.8, p.1-20, 2020.