

CAPÍTULO 10

Programação fetal em bovinos de corte: impactos da nutrição materna na produtividade da progênie

Raíssa Lixinski de Souza, Maurício Martins de Souza, Rodrigo Soares Volpatto, Matheus Dutra Teixeira, Dari Celestino Alves Filho

<https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-39-8.c10>

Resumo

Este capítulo de revisão detalha a Programação Fetal (PF) em bovinos de corte, um mecanismo epigenético onde a nutrição materna estratégica durante a gestação define o potencial produtivo e reprodutivo da progênie. A gestação bovina é dividida em três terços, cada um apresentando janelas críticas de desenvolvimento: o terço inicial (T1) estabelece a capacidade logística de suporte fetal, através da formação da placenta e dos órgãos vitais, o terço médio (T2) é a janela crucial para a maximização do potencial de carne magra, pois é onde ocorre a hiperplasia muscular e o terço final (T3) modula a qualidade da carcaça, por meio da adipogênese intramuscular (marmoreio), e a competência imunológica neonatal. A restrição nutricional no T2 limita permanentemente o número de fibras musculares, resultando em menor ganho de peso diário na fase adulta. Já a deficiência no T3 compromete o marmoreio e a saúde do bezerro. A PF induzida pela restrição gera um fenótipo "econômico", mais resiliente em ambientes desafiadores, mas subótimo em sistemas intensivos. O manejo do Escore de Condição Corporal (ECC) da matriz (ideal $3,5 \pm 0,5$) é crucial para mitigar o balanço energético negativo pós-parto e garantir o sucesso reprodutivo subsequente da vaca. Conclui-se que o timing correto da suplementação é um investimento fundamental que otimiza a eficiência, a produtividade e a qualidade da carne na pecuária de corte.

Palavras chaves: bovinocultura de corte, eficiência reprodutiva, condição corporal, qualidade de carcaça, suplementação.

1. Introdução

A utilização de tecnologias dentro da bovinocultura de corte no Brasil, normalmente está ligada às categorias mais eficientes, seja na fase de recria, ou

até mesmo na fase de engorda. Mas quando falamos em bovinocultura de corte, não podemos esquecer o principal mecanismo de funcionamento do sistema, as vacas. Na grande maioria dos sistemas essa categoria está marginalizada na fazenda, em sistemas extensivos, onde a atenção a ela está ligada ao quanto ela está produzindo, se é eficiente para o sistema. Embora economicamente viável, impõe desafios significativos, principalmente para as matrizes gestantes que possuem maiores exigências nutricionais justamente em períodos em que a qualidade das pastagens é inferior, seja durante o inverno nas regiões Sul, ou durante a estação seca nas demais regiões do país. Onde na maioria das vezes, essas pastagens não conseguem suprir as exigências nutricionais das vacas durante sua gestação (Gutiérrez *et al.*, 2014; Klein *et al.*, 2024).

De acordo com Colazo *et al.* (2009), vacas de corte submetidas à restrição alimentar no período pré-parto tendem a apresentar perda de peso e redução no escore de condição corporal ao parto, o que acarreta em um maior intervalo parto-primeiro cio e, conseqüentemente, em um intervalo parto-concepção mais longo. Portanto o correto manejo das vacas durante a fase de cria pode ter impacto direto no número de bezerros produzidos, bem como influenciar o potencial produtivo da progênie após o nascimento (Klein *et al.*, 2022).

O presente capítulo traz como objetivo apresentar de forma simples o impacto que a correta nutrição durante a gestação pode trazer para o sistema produtivo, sendo diretamente na vaca ou até mesmo indiretamente na progênie. Esse manejo diferente do comum da maioria das propriedades brasileiras é chamado de programação fetal, que consiste em apresentar uma estratégia focada em uma determinada fração da gestação.

2. Fundamentos da programação fetal em bovinos

2.1. Janelas de desenvolvimento e períodos críticos da gestação bovina

O desenvolvimento fetal em bovinos é um processo intrinsecamente dependente da nutrição materna, a qual atua como o principal modulador ambiental do crescimento e da diferenciação celular (Klein *et al.*, 2021). A gestação compreende janelas de desenvolvimento altamente sensíveis, nas

quais a restrição ou suplementação de nutrientes deve ser precisamente ajustada ao timing dos eventos biológicos que ocorrem em cada fase.

A duração média da gestação bovina é de aproximadamente 280 a 285 dias, podendo variar ligeiramente conforme a raça e o sexo do feto. Para fins de manejo nutricional e análise da programação fetal, esse período é convencionalmente dividido em três terços gestacionais (trimestres), cada um caracterizado por especificidades fisiológicas e demandas metabólicas distintas.

2.1.1. Cronologia gestacional bovina

O crescimento fetal em condições normais segue um padrão sigmoidal. O desenvolvimento é relativamente lento nas fases iniciais, mas a taxa de ganho de peso fetal aumenta exponencialmente a partir de aproximadamente 50 dias de gestação, atingindo valores máximos próximos a 0,35 kg/dia por volta dos 230 dias (Prior e Lester, 1979; Bergamaschi, 2001). Essa aceleração no terço final impõe às maiores exigências nutricionais sobre a matriz, sendo este o período mais crítico para o fornecimento adequado de nutrientes.

A divisão técnica para fins de manejo nutricional e estudos de programação fetal pode ser descrita da seguinte forma:

- Primeiro Terço (T1): Dias 1 a aproximadamente 90 (Meses 1 a 3)

O primeiro terço da gestação representa a fase de menor demanda nutricional absoluta para o feto devido ao seu tamanho reduzido, mas é o período de maior importância para o estabelecimento da infraestrutura que irá suportar o crescimento subsequente e a determinação do potencial produtivo de longo prazo.

- Segundo Terço (T2): Dias 91 a aproximadamente 180 (Meses 4 a 6)

O segundo terço da gestação é metabolicamente dominado pela hiperplasia celular, ou seja, o aumento no número de células em diversos tecidos. Esta é a janela mais crítica para a determinação do potencial de crescimento em termos de massa muscular.

- Terceiro Terço (T3): Dias 181 ao parto (Meses 7 a 9)

O terço final da gestação é o período de maior demanda energética e proteica para a matriz, caracterizado pelo crescimento fetal exponencial e pela maturação final dos sistemas. Estima-se que até 90% do peso fetal ao nascimento seja adquirido neste período (Bergamaschi, 2001).

Tabela 1. Cronologia e eventos celulares-chave da gestação bovina

Período Gestacional	Foco fisiológico	Eventos celulares	Peso fetal (Relativo)
T1	Organogênese e Implantação Placentária	Diferenciação de Órgãos Vitais, Miogênese Primária, Angiogênese	Baixo (Crescimento lento)
T2	Determinação Estrutural e Hiperplasia	Miogênese Secundária (Definição do número de fibras musculares), Início da Adipogênese	Moderado (Aumento da taxa de crescimento)
T3	Crescimento Fetal Exponencial e Maturação	Hipertrofia Muscular, Adipogênese Intensa (Marmoreio), Desenvolvimento Imunológico	Alto (Máxima taxa de ganho de peso)

A ingestão de nutrientes pela vaca gestante é reconhecida como um dos fatores mais significativos na modulação do ambiente uterino e, consequentemente, do potencial produtivo da prole. As alterações induzidas pela PF são mediadas por mecanismos epigenéticos, que são modificações na expressão de genes (como a metilação do DNA e a modificação das histonas) sem alterar a sequência de DNA do indivíduo (Amorin e Almeida, 2024). Essas alterações epigenéticas permitem uma adaptação rápida do feto ao ambiente uterino.

Em sistemas de produção de corte no Brasil, a relevância da programação fetal é amplificada pela variação sazonal na disponibilidade e qualidade dos nutrientes do pasto, especialmente durante o período seco, o que expõe frequentemente as vacas gestantes a períodos de restrição (Klein *et al.*, 2021). O reconhecimento de que a nutrição materna na gestação pode alterar a formação fetal, com efeitos persistentes na vida adulta da progênie, torna o manejo

nutricional da matriz uma ferramenta estratégica para otimizar a eficiência produtiva (Silva, 2021).

3. Efeitos da programação fetal no desempenho produtivo da progênie

3.1. Desenvolvimento muscular (miogênese)

A formação do músculo esquelético é um processo bifásico no feto: hiperplasia (aumento do número de células) e hipertrofia (aumento do tamanho das células).

3.1.1. Miogênese primária e determinação inicial de fibras (T1)

A miogênese primária, que envolve o comprometimento celular à linhagem miogênica, ocorre no T1. Embora a demanda absoluta de nutrientes para o feto seja menor, o estabelecimento da estrutura inicial ocorre neste período.

3.1.2. Miogênese secundária e hiperplasia (T2): impacto da proteína e energia

O T2 é a fase mais crucial para definir o potencial produtivo de carne magra. É aqui que ocorre a miogênese secundária e a hiperplasia muscular. O processo de hiperplasia é restrito ao período fetal e não pode ser compensado após o nascimento (Du *et al.*, 2013). A restrição de nutrientes, especialmente proteína e energia, durante o T2 reduz o número total de fibras musculares. Como o crescimento muscular pós-natal ocorre apenas por hipertrofia das fibras pré-existentes, uma redução no número inicial de fibras limita severamente a capacidade de ganho de peso diário e o rendimento de carcaça do animal na fase adulta (Du *et al.*, 2010).

3.1.3. Hipertrofia muscular e a fase final da gestação (T3)

No T3, o feto passa por um crescimento acelerado e o músculo esquelético cresce predominantemente por hipertrofia. Embora a restrição

nutricional neste período não afete o número de fibras, ela reduz o tamanho das fibras musculares e a densidade das células satélites. As células satélites são essenciais para a hipertrofia pós-natal, portanto, a deficiência no T3 limita o crescimento muscular subsequente. Funston *et al.* (2009) demonstraram que a nutrição materna adequada no T3 resultou em peso final superior nos novilhos.

3.2. Desenvolvimento adiposo e qualidade da carcaça

A adipogênese, processo de formação de células de gordura (adipócitos), se inicia no T2, sobrepondo-se à miogênese secundária. Existem quatro depósitos de gordura em bovinos (visceral, subcutânea, intermuscular e intramuscular). A formação de gordura visceral começa na metade da gestação, enquanto a gordura subcutânea (cobertura) se forma um pouco mais tarde, entre o T2 e o início do desmame.

A gordura intramuscular, conhecida como marmoreio, é crítica, pois contribui diretamente para a maciez, palatabilidade e suculência da carne, fatores altamente valorizados pelos consumidores. O desenvolvimento do marmoreio é estimado para ocorrer intensamente no final da gestação (T3), estendendo-se até cerca de 250 dias de idade, um período denominado "Janela de Marmoreio" (Du *et al.*, 2013). A restrição nutricional no T3 prejudica a adipogênese e, conseqüentemente, a formação do marmoreio e a hipertrofia muscular. Estudos demonstraram que a suplementação da matriz no último trimestre de gestação resultou em um maior escore de marmoreio e maior espessura de gordura de cobertura na carcaça da progênie (Funston *et al.*, 2010).

3.3. Desempenho pós-natal

A nutrição materna define aspectos como peso ao nascimento, peso à desmama, peso vivo final no confinamento e ganho de peso diário da progênie. Em um estudo com vacas Canchim, a suplementação proteica que visava atender 75% da exigência (consumo real de 57%) no final da gestação não interferiu no desempenho dos bezerros até os 60 dias de vida, embora a matriz tenha apresentado menor ganho de peso pós-parto. Isso sugere que os efeitos

da programação podem ser mais sutis ou tardios, ou que a restrição não foi severa o suficiente para causar impacto imediato na produtividade inicial do bezerro (Silva *et al.*, 2021).

A restrição materna pode induzir um fenótipo "econômico" no feto, caracterizado por adaptações metabólicas que o preparam para um ambiente de baixa disponibilidade de nutrientes (Klein *et al.*, 2021). A Programação Fetal, neste contexto, é uma ferramenta de adaptação seletiva, e não necessariamente de maximização absoluta do crescimento. Pesquisas demonstram que novilhos cujas mães foram submetidas à restrição nutricional no T3 (RES) se sobressaíram em ambientes desafiadores. Em contraste, animais provenientes de vacas adequadamente suplementadas (REQ ou HIGH) desempenharam melhor em ambientes nutricionalmente favoráveis, como o confinamento (Klein *et al.*, 2023).

Essa adaptação envolve mudanças fisiológicas; animais programados (RES e HIGH) podem apresentar um peso relativo maior do rúmen e do trato gastrointestinal (TGI) em comparação com os animais REQ (100% da exigência). Esse desenvolvimento compensatório do TGI pode ser uma estratégia para otimizar a absorção de nutrientes em condições de restrição. A conclusão é que o manejo de programação deve ser alinhado com o destino do bezerro: se o animal será terminado em confinamento intensivo, o fenótipo REQ/HIGH é mais adequado; se permanecerá em pastagens de baixa qualidade, o fenótipo RES pode apresentar maior resiliência e eficiência.

3.4. Implicações reprodutivas na progênie

A Programação Fetal pode impactar permanentemente a fertilidade futura da progênie (Amorin e Almeida, 2024; Larson *et al.*, 2009). A restrição nutricional no T1 pode comprometer o desenvolvimento dos órgãos reprodutivos. Uma suplementação adequada em novilhas se correlaciona com melhorias significativas nas taxas de estro, prenhez e parição. A manifestação de estro é reflexo do ganho de peso e do Escore de Condição Corporal (ECC) ao final do período reprodutivo (Vaz *et al.*, 2012).

3.5. Saúde e resposta imune

A subnutrição materna durante janelas críticas têm implicações diretas na saúde neonatal. A baixa Condição Corporal da matriz ao parto (refletindo nutrição inadequada no T3) está associada a uma menor concentração sérica de Imunoglobulinas (Ig) no bezerro nas primeiras 24 horas de vida, indicando uma falha na transferência de imunidade passiva (TIP) (Lemaster *et al.*, 2017). A TIP é essencial para a transferência de anticorpos, prevenindo a suscetibilidade a infecções (Perino *et al.*, 1995).

A subnutrição materna pode causar efeitos permanentes no sistema imunológico da prole. Animais programados sob restrição podem apresentar diminuição na resposta humoral induzida pela vacinação, redução na resposta inflamatória e menor capacidade de lidar com o estresse fisiológico após o desmame. Tais alterações aumentam a susceptibilidade a infecções bacterianas e virais (Lemaster *et al.*, 2017).

4. Estratégias de manejo e nutrição materna

4.1. Suplementação estratégica

A suplementação deve ser calibrada de acordo com as janelas críticas do desenvolvimento fetal:

- T1 (Capacidade Placentária e Órgãos): Foco em assegurar a formação da placenta e dos órgãos vitais, prevenindo o comprometimento da fundação do crescimento subsequente (Mendes, 2016).
- T2 (Maximização Muscular): Suplementação proteica e energética para maximizar a hiperplasia muscular, definindo o potencial máximo de massa magra do bezerro (Du *et al.*, 2010).
- T3 (Qualidade de Carcaça e Reservas Maternas): Suplementação para promover a hipertrofia muscular e a adipogênese intramuscular (marmoreio) no bezerro, além de garantir reservas para a matriz (Du *et al.*, 2013). A suplementação proteica adequada no T3 promoveu maior ganho de peso nas matrizes no pós-parto, auxiliando na recuperação e no desempenho reprodutivo (Silva *et al.*, 2021).

4.2. Manejo de condição corporal (ECC) da matriz

O ECC é fundamental para auxiliar na definição de lotes e estratégias de suplementação. O ECC ideal de $3,5 \pm 0,5$ (em uma escala de 1 a 5) é a prioridade para alcançar altas taxas de prenhez em programas de IATF. Vacas com menor ECC no parto e na estação de monta diminuem os resultados de prenhez, sendo as primíparas as mais sensíveis a menores planos nutricionais (Carvalho, 2017).

Vacas que produzem bezerros mais pesados no desmame são as que mais mobilizam reservas corporais e, portanto, necessitam de maior suporte nutricional no pós-parto. Uma estratégia de manejo eficaz é adiantar a desmama dos bezerros de primíparas para permitir que as matrizes recuperem o ECC antes da próxima estação de monta (Carvalho, 2017).

5. Considerações finais

Programação Fetal oferece uma tecnologia de gestão que permite a manipulação intencional do potencial produtivo por meio do timing nutricional. O gerenciamento preciso das janelas críticas (T1 para capacidade placentária, T2 para hiperplasia muscular e T3 para qualidade de carcaça e reservas maternas) é a chave para a otimização da pecuária. O ECC da matriz (ideal 3,5) é um indicador prático que correlaciona o manejo fetal com o sucesso reprodutivo da mãe e a saúde inicial do bezerro.

Ainda existem lacunas significativas no entendimento dos efeitos transgeracionais da programação fetal em bovinos. É fundamental que estudos futuros avaliem como as alterações metabólicas e epigenéticas decorrentes da restrição ou suplementação materna podem ser transmitidas às gerações subsequentes, influenciando parâmetros como eficiência reprodutiva, desempenho produtivo e adaptabilidade metabólica do rebanho (Amorim e Almeida, 2024).

6. Referências bibliográficas

AMORIN, Fernanda; ALMEIDA, Jaci. Programação fetal bovina: possíveis implicações na reprodução e na progênie. **Revista Saber Digital**, v. 17, n.3,

e20241707, set./dez., 2024.
<https://doi.org/10.24859/SaberDigital.2024v17n3.1598>.

BERGAMASCHI, Marcos. **Efeito do genótipo paterno e sistemas de pastejo no desenvolvimento fetal e nas características ao nascimento de bovinos**. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2001.

Carvalho, Rafael. **Influência da alteração do escore de condição corporal e de hormônios metabólicos pós-parto na eficiência reprodutiva de vacas nelore inseminadas em tempo fixo**. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista (UNESP), 2017.

COLAZO, Marcos *et al.* Reproductive performance of dairy cows is influenced by prepartum feed restriction and dietary fatty acid source. **Journal of Animal Science**, v. 92, p. 2562-2571, 2009.

DU, Min *et al.* Fetal programming of skeletal muscle development in ruminant animals. **Journal of Animal Science**, Champaign, v.88 (E. Suppl.), p.51- 60, 2010.

DU, Min *et al.* 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.

FUNSTON, Richard *et al.* Effect of Winter Grazing System and Supplementation on Beef Cow and Progeny Performance. **Nebraska Beef Report**, 2009. <https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1507&context=animalscinbcr> (Acessado 8 de outubro de 2025)

FUNSTON, R. N., Larson, D. M., Vonnahme, K. A. Effects of maternal nutrition on conceptus growth and offspring performance: implications for beef cattle production. **Journal of animal science**, 88(13 Suppl), E205–E215, 2010. <https://doi.org/10.2527/jas.2009-2351>.

GUTIÉRREZ, V. *et al.* Effects of calf early nutrition on muscle fiber characteristics. **Livestock Science**, v. 166, p. 1-8, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2014.07.010>.

KLEIN, John *et al.* Fetal programming and the consequences on progeny development - a review. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 12, p. 1-11, 2021. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i12.20766>.

KLEIN, John *et al.* Efeitos da nutrição no terço final da gestação de vacas de corte sobre o desenvolvimento da progênie. **Revista Mexicana de Ciências Pecuárias**, [S. l.], v. 13, n.º 3, p. 658–673, 2022. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v13i3.6015>.

KLEIN, John *et al.* Efeito da nutrição materna no terço final da gestação sobre a composição corporal da progênie ao abate. **Ciência Animal Brasileira**, v. 24, e-74730P, 2023.

<https://www.scielo.br/j/cab/a/fgdnWmytfRbrjKmp8L7WN9N/?format=pdf&lang=pt> (Acessado 9 de outubro de 2025).

- KLEIN, John *et al.* Variation in cow body condition score during the final third of gestation and its effects on progeny performance. **Semina: Ciências Agrárias**, [S. l.], v. 44, n. 6, p. 2163–2178, 2024. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2023v44n6p2163>.
- LEMASTER, C. T. *et al.* The effects of late gestation maternal nutrient restriction with or without protein supplementation on endocrine regulation of newborn and postnatal beef calves. **Theriogenology**, 87, 64–71, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.08.004>.
- MENDES, Luisa. **O efeito da nutrição materna sobre o desenvolvimento fetal e o seu impacto na constituição da carcaça bovina**. Monografia (Curso de Veterinária) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.
- PERINO, L.J.; SUTHERLAND, R.L.; WOOLLEN, N.H. Colostral absorption of immunoglobulins G and M in newborn calves. **Am. J. Vet. Res.**, v. 56, n. 6, p. 755-760, 1995.
- PRIOR, R.L.; LASTER, D.B. Development of the bovine fetus. **Journal of Animal Science**, v. 48, n. 6, p. 1546-1553, 1979.
- SILVA, Ramon. **Estratégias de suplementação no desempenho de vacas e bezerros Canchim**. Dissertação (Mestrado em Produção Animal) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2021.
- VAZ, Ricardo *et al.* Desempenho de novilhas de corte até o parto recebendo diferentes níveis de suplementação durante o período reprodutivo, aos 14 meses de idade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 41, n. 3, p. 797-806, 2012. <https://www.scielo.br/j/rbz/a/nxzcSkt6kQwM7w4bW8L55hr/?format=pdf&lang=pt> (Acessado 9 de outubro de 2025).

Agradecimentos

Agradecemos o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (Capes).

Autores

Raíssa Lixinski de Souza, Maurício Martins de Souza, Rodrigo Soares Volpatto, Matheus Dutra Teixeira, Dari Celestino Alves Filho

Departamento de Zootecnia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil.