

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**EFEITO DA SELEÇÃO GENÉTICA PARA CONSUMO
ALIMENTAR RESIDUAL SOBRE OS PREDITORES DE
FERTILIDADE EM NOVILHAS NELORE (*Bos indicus*)**

**Marina de Oliveira Silva
Médica Veterinária**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**EFEITO DA SELEÇÃO GENÉTICA PARA CONSUMO
ALIMENTAR RESIDUAL SOBRE OS PREDITORES DE
FERTILIDADE EM NOVILHAS NELORE (*Bos indicus*)**

Discente: Marina de Oliveira Silva

Orientador: Prof. Dr(a). Fabio Morato Monteiro

Coorientadora: Profa. Dr(a). Maria Eugênia Zerlotti Mercadante

**Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agrárias e Veterinárias – Unesp, Campus de
Jaboticabal, como parte das exigências para
a obtenção do título de Doutora em Ciências
Veterinárias**

S586e Silva, Marina de Oliveira
Efeito da seleção genética para consumo alimentar residual sobre os preditores de fertilidade em novilhas Nelore (*Bos indicus*) / Marina de Oliveira Silva. -- , 2026
59 p. : il., tabs.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal,
Orientador: Fabio Morato Monteiro
Coorientadora: Maria Eugênia Zerlotti Mercadante

1. Eficiência alimentar. 2. Bovinos de corte Melhoramento genético.
3. Reprodução animal. 4. Fêmeas Fisiologia. 5. Bovinos Reprodução.

I. Título.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: EFEITO DO CONSUMO ALIMENTAR RESIDUAL SOBRE OS PREDITORES DE FERTILIDADE EM NOVILHAS NELORE (*Bos indicus*)

AUTORA: MARINA DE OLIVEIRA SILVA

ORIENTADOR: FABIO MORATO MONTEIRO

COORIENTADORA: MARIA EUGÊNIA ZERLOTTI MERCADANTE

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em Ciências Veterinárias, área: Morfofisiologia e Reprodução Animal pela Comissão Examinadora:

Pesquisador Dr. FABIO MORATO MONTEIRO (Participação Virtual)
Instituto de Zootecnia (IZ) / Sertãozinho/SP

Documento assinado digitalmente
 **PIETRO SAMPAIO BARUSELLI**
Data: 24/02/2025 10:05:45-0300
Verifique em <https://validar.itd.gov.br>

Prof. Dr. PIETRO SAMPAIO BARUSELLI (Participação Virtual)
Departamento de Reprodução Animal / FMVZ USP São Paulo/SP

Documento assinado digitalmente
 **LINDSAY UNNO GIMENES**
Data: 24/02/2025 10:42:45-0300
Verifique em <https://validar.itd.gov.br>

Profa. Dra. LINDSAY UNNO GIMENES (Participação Virtual)
Departamento de Patologia Reproducão e Saúde Unica / FCAV UNESP Jaboticabal

Documento assinado digitalmente
 **FABIO MOROTTI**
Data: 24/02/2025 09:15:00-0300
Verifique em <https://validar.itd.gov.br>

Prof. Dr. FABIO MOROTTI (Participação Virtual)
Departamento de Clínicas Veterinárias / Universidade Federal de Londrina (UEL) - Londrina/PR



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal



Documento assinado digitalmente
MAIRA BIANCHI RODRIGUES ALVES
Data: 24/02/2025 21:32:03-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Profa. Dra. MAÍRA BIANCHI RODRIGUES ALVES (Participação Virtual)
Departamento de Patologia, Reprodução e Saúde Única / FCAV UNESP Jaboticabal

Jaboticabal, 21 de fevereiro de 2025

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Marina de Oliveira Silva, nascida em Araraquara, SP, em 21 de março de 1994, concluiu o ensino médio na Escola Estadual Professora Léa de Freitas Monteiro, na cidade de Araraquara, SP, em dezembro de 2011. Em janeiro de 2014, ingressou no curso de Graduação em Medicina Veterinária no Centro Universitário Anhanguera, Câmpus de Leme, SP, concluindo-o em janeiro de 2019. De 2019 a 2021, cursou Pós-graduação em Produção Animal Sustentável, nível Mestrado, no Instituto de Zootecnia do Governo do Estado de São Paulo (IZ), em parceria com a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), desenvolvendo a dissertação intitulada “Efeito da idade de fêmeas Nelore (*Bos indicus*) na produção in vitro de embriões e taxa de gestação”, sob orientação da Dra. Maria Eugênia Zerlotti Mercadante e coorientação do Prof. Dr. Fabio Morato Monteiro. Em janeiro de 2021, ingressou no curso de Pós-graduação em Ciências Veterinárias, nível Doutorado, na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (Unesp), Câmpus de Jaboticabal, SP, sob orientação do Prof. Dr. Fabio Morato Monteiro, com bolsa da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

“Ebenezer: até aqui o Senhor me sustentou.”
(1 Samuel 7:12, paráfrase)

Dedico este trabalho a meus pais José Luiz Oliveira Silva e Aíres Maria Oliveira Silva e ao meu tio Guinha (*in memoriam*), por todo apoio e carinho.

Amo vocês!

AGRADECIMENTOS

Dedico este trabalho, primeiramente, a Deus, pois sem Ele nada disso seria possível. Agradeço a força, sabedoria e serenidade para chegar até aqui.

À minha família, meus pais José Luiz Oliveira Silva e Aíres Maria Oliveira Silva, e ao meu irmão Alex Oliveira Silva, que foram minha base, meu porto seguro e minha maior motivação para concluir esta trajetória.

Ao meu namorado Caio Franchini e à sua família, por todo o apoio, carinho e presença constante desde o início dessa caminhada.

Agradeço à Pastora Priscila Calselin e ao Pastor Osmar Calselin por todos os conselhos e orações, que foram fonte de apoio e inspiração ao longo desta trajetória.

Ao meu orientador Prof. Dr. Fabio Morato Monteiro e à minha coorientadora Prof. Dra. Maria Eugênia Zerlotti Mercadante, por todos os conselhos, puxões de orelha e, principalmente, por todo o aprendizado e crescimento profissional proporcionados ao longo do caminho.

Aos meus amigos Marcelo Sant'Ana Borges, Ricardo Dutra do Bem, Leticia Padovani, Julia Valente, Tainara Luana, Julian Muñoz, Lorena Benfica, Laura Fernanda e Pedro Bignardi, por compartilharem as dificuldades, alegrias e conquistas durante todo o período do projeto. Vocês foram fundamentais para tornar essa jornada mais leve e especial.

A todos os funcionários do Instituto de Zootecnia, em especial aos campeiros Fra, Fran, Dal, Pedrão e Valdir, pelo auxílio incansável nas coletas e no manejo dos animais. Vocês foram essenciais para o andamento deste trabalho. Um agradecimento especial à Estela, por suas refeições maravilhosas que sempre nos salvaram nos dias mais cansativos.

A todos os alunos e estagiários que passaram pelo Instituto de Zootecnia e contribuíram de alguma forma com as coletas de dados.

Ao Instituto de Zootecnia, pelo fornecimento dos animais e pelo suporte estrutural à pesquisa.

Aos animais que participaram deste estudo, minha mais profunda gratidão e respeito. A contribuição silenciosa de cada um foi essencial para o avanço da ciência e para o aprendizado que este trabalho representa.

À UNESP e ao Departamento de Reprodução Animal, por toda a formação, oportunidades e experiências que tornaram possível a realização deste sonho.

Agradeço, de coração, a todos que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho, seja com apoio, amizade, incentivo, palavras de conforto ou gestos de ajuda. Cada contribuição, por menor que parecesse, foi essencial para que este sonho se tornasse realidade.

Este trabalho contou com o apoio fundamental da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, e da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), processo nº 2022/08182-0.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS	1
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	2
2.1 Consumo Alimentar Residual (CAR).....	2
2.2 Consumo alimentar residual e espessura de gordura	3
2.3 Consumo alimentar residual (CAR) e hormônios metabólicos	5
2.4 Consumo alimentar residual e preditores de fertilidade	8
2.5 Consumo alimentar residual e reprodução animal	10
REFERÊNCIAS	12
CAPÍTULO 2 - EFEITO DA SELEÇÃO GENÉTICA PARA CONSUMO ALIMENTAR RESIDUAL SOBRE OS PREDITORES DE FERTILIDADE EM NOVILHAS NELORE (<i>BOS INDICUS</i>).....	19
1. INTRODUÇÃO.....	21
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	23
2.1 Localização e animais	23
2.2 Delineamento Experimental	23
2.3 Valor genômico predito do consumo alimentar residual (VG-CAR)	24
2.4 Biometria vulvar e anogenital	25
2.5 Exame ultrassonográfico	25
2.6. Inseminação artificial em tempo fixo (IATF).....	26
2.7. Colheita de sangue e dosagem hormonal	27
2.8. Espessura de gordura subcutânea do lombo e da garupa	28
2.9. Análise Estatística	28
3. RESULTADOS	29
4. DISCUSSÃO.....	35
5. CONCLUSÃO	40
REFERÊNCIAS	41

CERTIFICADO DA COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS



Protocolo n.º 344-2022

Governo do Estado de São Paulo
Secretaria de Agricultura e Abastecimento
Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios
Instituto de Zootecnia

CERTIFICADO

Certificamos que o protocolo intitulado **“EFEITO DO CONSUMO ALIMENTAR RESIDUAL NOS FENÓTIPOS RELACIONADOS À FERTILIDADE EM FÊMEAS NELORE (*Bos indicus*)”**, protocolo n.º **“344-2022**, sob a responsabilidade de **Fabio Morato Monteiro, Maria Eugênia Zerlotti Mercadante, Marina de Oliveira Silva, Marcelo Sant’Ana Borges, Leticia Padovani da Silva, Jaine Martelo Pagoto**, que envolve a utilização de bovinos para fins de pesquisa científica – encontra-se de acordo com os preceitos da Lei n.º 11.794, de 8 de outubro de 2008, do Decreto no 6.899 de 15 de julho de 2009, e com as normas editadas pelo Conselho Nacional de Controle da Experimentação Animal (CONCEA), tendo sido aprovado pela COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS (CEUA) do INSTITUTO DE ZOOTECLNIA, em reunião de **10/02/2022**.

Finalidade	() Ensino (X) Pesquisa Científica () Treinamento
Vigência do Projeto	15/03/2022 a 15/11/2023
Espécie/Linhagem	<i>Bos taurus indicus/Nelore</i>
No. de Animais	300
Peso/Idade	230 kg /12 meses
Sexo	300 fêmeas
Origem	CAPBC

José Evandro de Moraes
Presidente CEUA-IZ

Efeito do consumo alimentar residual sobre os preditores de fertilidade em novilhas Nelore (*Bos indicus*)

RESUMO - A seleção de animais com base no consumo alimentar residual (CAR) tem potencial para reduzir custos na produção bovina. Entretanto, a relação entre CAR e fertilidade ainda é controversa, o que reforça a necessidade de estudos que avaliem possíveis impactos da eficiência alimentar sobre características reprodutivas. O valor genético para CAR (VG CAR) é uma ferramenta que considera efeitos fixos e aleatórios, incluindo o genético aditivo, permitindo a identificação de indivíduos superiores para programas de melhoramento. O objetivo deste estudo foi investigar se preditores de fertilidade são influenciados pelo CAR em novilhas Nelore. Foram avaliadas 199 novilhas, com idade inicial de 17,5 meses e final de 23,5 meses, sendo 94 classificadas como VG CAR negativo e 105 como VG CAR positivo. Os preditores analisados incluíram morfometria vulvar, contagem de folículos antrais (CFA), diâmetro do maior folículo, biometria uterina e ovariana, ecogenicidade e ecotextura uterina, presença de corpo lúteo (CL), espessura de gordura subcutânea na garupa (EGG) e espessura de gordura na área de olho de lombo (EGL). Também foram quantificadas as concentrações séricas de IGF-1, leptina e hormônio anti-Mülleriano (AMH). Durante a estação reprodutiva, 172 novilhas foram submetidas à inseminação artificial em tempo fixo (IATF) e avaliadas quanto à taxa de gestação aos 30 dias. A análise estatística foi conduzida por ANOVA para medidas repetidas (procedimentos MIXED e GLIMMIX, SAS® 9.4), com comparação de médias pelo teste t ($P \leq 0,05$). A relação entre CFA e hormônios foi analisada por regressão linear simples no software R. Não houve diferenças ($P > 0,05$) em CFA, largura vulvar, diâmetro do maior folículo, ecogenicidade, ecotextura, EGG, EGL, concentrações hormonais ou taxa de gestação entre os grupos. Novilhas VG CAR negativo apresentaram maior comprimento de rima vulvar, maior distância anogenital e maior diâmetro ovariano. Conclui-se que o CAR influencia alguns parâmetros morfoanatômicos, mas não afeta os principais indicadores de fertilidade, nem as taxas reprodutivas avaliadas em novilhas Nelore.

Palavras-chave: biometria ovariana, bovino, CAR, eficiência alimentar, morfometria uterina, morfometria vulvar, seleção genética

Effect of residual feed intake on fertility predictors in Nelore heifers (*Bos indicus*)

ABSTRACT – Selection of animals based on residual feed intake (RFI) has the potential to reduce production costs in beef cattle systems. However, the relationship between RFI and fertility remains controversial, reinforcing the need for studies that evaluate possible impacts of feed efficiency on reproductive traits. The Genetic Value for RFI (GV-RFI) is a tool that incorporates fixed and random effects, including the additive genetic component, allowing the identification of superior individuals for breeding programs. The objective of this study was to investigate whether fertility predictors are influenced by RFI in Nelore heifers. A total of 199 heifers were evaluated, with an initial age of 17.5 months and a final age of 23.5 months, of which 94 were classified as negative GV-RFI and 105 as positive GV-RFI. The evaluated predictors included vulvar morphometry, antral follicle count (AFC), dominant follicle diameter, uterine and ovarian biometry, uterine echogenicity and echotexture, presence of corpus luteum (CL), rump fat thickness (EGG), and loin fat thickness (EGL). Serum concentrations of IGF-1, leptin, and anti-Müllerian hormone (AMH) were also quantified. During the breeding season, 172 heifers were subjected to fixed-time artificial insemination (FTAI) and evaluated for pregnancy rate at 30 days. Statistical analysis was conducted using repeated-measures ANOVA (MIXED and GLIMMIX procedures, SAS® 9.4). Mean comparisons were performed by t-test ($P \leq 0.05$). The relationship between AFC and hormone concentrations was analyzed by simple linear regression in R. No differences ($P > 0.05$) were observed between groups for AFC, vulvar width, dominant follicle diameter, uterine echogenicity or echotexture, EGG, EGL, hormone concentrations, or pregnancy rate. Negative GV-RFI heifers showed greater vulvar rim length, longer anogenital distance, and larger ovarian diameter. In conclusion, RFI influences certain morphoanatomical parameters but does not affect key fertility indicators or reproductive performance traits in Nelore heifers.

Keywords: ovarian biometry, cattle, RFI, feed efficiency, uterine morphometry, vulvar morphometry, genetic selection

CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

1. INTRODUÇÃO

A nutrição é um item de maior representatividade nos custos de produção de bovinos de corte. Um animal que pesa 500 kg e consome 2% do seu peso corporal em alimento ingerirá 10 kg de matéria seca (MS) por dia (Albertini et al., 2015). Isso significa que, apesar de parecer um valor pequeno, o consumo dos animais resulta em custos significativos sobre a cadeia produtiva. Nesse cenário, surge a necessidade de selecionar animais que apresentam menor consumo alimentar sem prejuízo sobre a produtividade, destacando a importância da eficiência alimentar como uma ferramenta para diminuição dos custos de produção.

Existem diversas formas de mensurar a eficiência alimentar em bovinos, entre elas, se destaca o consumo alimentar residual (CAR). O CAR é definido como a diferença entre o consumo alimentar observado e o consumo esperado, este ajustado para o peso médio vivo metabólico e a taxa de ganho de peso diário (Koch et al., 1963). Com base nos valores de CAR, os animais podem ser classificados em baixo CAR ou CAR negativo, sendo estes considerados mais eficientes. Isso ocorre porque, mesmo consumindo uma menor quantidade de alimento, eles mantêm um ganho de peso semelhante ao dos animais classificados como alto CAR ou CAR positivo, que consomem mais alimentos para obter o mesmo desempenho em termos de ganho de peso (Koch et al., 1963; Arthur et al., 2005).

A obtenção do CAR pode ser realizada através do uso de baias individuais ou sistemas de cochos eletrônicos, como GrowSafe® ou Intergado®, onde o consumo alimentar dos animais é medido diariamente. Entretanto, devido à necessidade de manter os animais em confinamento por um período prolongado esse processo pode ser oneroso (Lima et al., 2013). Além disso, esses sistemas possuem um custo elevado e demandam mão de obra especializada para interpretar os resultados diários.

Nesse cenário, a aplicação do método Best Linear Unbiased Predictor (BLUP), desenvolvido por Henderson (1975), utilizando um modelo animal, torna possível estimar o Valor Genético para Consumo Alimentar Residual (VG CAR) de toda a população sob análise, desde que existam dados sobre o CAR (fenótipos) de muitos

indivíduos e parentesco entre eles. O uso do VG CAR pode proporcionar maior precisão, quando comparado ao CAR fenotípico, ao mesmo tempo pode reduzir os custos, uma vez que, dentro da população, mesmo os animais que não tiveram seus CAR mensurados possuem o VG CAR, o que pode favorecer a seleção precoce e contribuir para a eficiência da produção animal (Khansefid et al., 2014).

Enquanto alguns estudos sugerem que o CAR pode afetar a eficiência reprodutiva (Shaffer et al., 2011; Crowley et al., 2011; Reynolds et al., 2018), outros apresentam resultados contrários, indicando que a seleção para CAR não exerce influência significativa sobre as características reprodutivas (Ferreira Junior et al. 2018; Blair et al. 2013; Arthur et al. 2005). Analisar o CAR em conjunto com parâmetros reprodutivos permite uma compreensão mais profunda de como a eficiência alimentar pode impactar a eficiência reprodutiva de fêmeas bovinas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Consumo Alimentar Residual (CAR)

O CAR é obtido através da comparação entre o consumo de matéria seca (CMS) individual observado e o consumo predito para o peso metabólico e ganho de peso médio diário (Koch et al., 1963, Arthur et al., 2001). Em termos práticos, o CAR é derivado como o resíduo de uma equação de regressão múltipla, conforme o modelo introduzido por Koch et al. (1963):

$$CMS = \beta_0 + \beta_P PC^{0,75} + \beta_G GMD + \varepsilon,$$

onde CMS representa o consumo de matéria seca observado, β_0 é o intercepto da equação, $PC^{0,75}$ é o peso corporal metabólico médio, GMD é o ganho de peso médio diário, β_P e β_G são os coeficientes de regressão de CMS em relação a $PC^{0,75}$ e GMD, respectivamente, e ε é o resíduo da equação, que é o CAR. Nesse contexto, animais com CAR negativo são considerados mais eficientes, indicando que o consumo observado é menor que previsto para seu $PC^{0,75}$ e GMD (Koch et al., 1963), enquanto aqueles de CAR positivo são menos eficientes, denotando um consumo observado superior ao previsto (Basarab et al., 2013; Berry e Crowley, 2013; Ferreira Júnior et al., 2018).

A partir dos valores fenotípicos de CAR, é possível utilizar os programas da família BLUPF90+ (Misztal et al., 2018) para análises genéticas avançadas. Esses programas integram informações de fenótipos, parentesco e de genotipagem, como os Polimorfismos de Nucleotídeo Único (SNPs), permitindo a estimativa dos valores genéticos dos indivíduos.

Por meio da metodologia Best Linear Unbiased Predictor (BLUP), desenvolvida por Henderson (1975), é possível calcular o valor genético de CAR para todos os indivíduos que estão no pedigree (e/ou com genótipos). O grande diferencial dessa abordagem está na precisão das estimativas, já que ela leva em conta tanto os efeitos fixos quanto os aleatórios, como o efeito genético aditivo. Essa precisão facilita a identificação de indivíduos geneticamente superiores, contribuindo diretamente para a eficiência e o sucesso dos programas de melhoramento animal.

Donoghue et al. (2011) realizaram um estudo que combinou a seleção baseada no CAR fenotípico, medido diretamente em testes de eficiência alimentar, com a utilização de valores genéticos estimados (VG) para CAR pós-desmame, calculados pelo sistema BREEDPLAN Trial. De forma semelhante, Blair et al. (2013) integraram dados fenotípicos de CAR, obtidos em testes controlados utilizando os sistemas Calan Gates feeding system e GrowSafe, com os VGs dos pais como critério de seleção para touros e como base para análises complementares nos grupos de fêmeas. Em ambos os estudos, os VGs foram fundamentais para otimizar a seleção genética, permitindo previsões mais acuradas e eficientes do desempenho dos animais, com menor necessidade de medições fenotípicas repetidas, o que é particularmente vantajoso em programas de melhoramento genético em grande escala.

2.2 Consumo alimentar residual e espessura de gordura

Para que novilhas pré-púberes alcancem a puberdade e mantenham função reprodutiva adequada, o estado nutricional e a quantidade de reservas de energia, especialmente na forma de gordura corporal é essencial (D'occhio et al., 2019).

A gordura subcutânea apresenta influência na regulação de hormônios e na maturação sexual de novilhas pré-púberes (D'occhio et al., 2019). Ela funciona como um reservatório de energia, executando um papel crucial no suporte ao sistema reprodutivo (Cassady et al., 2009). Randel e Welsh (2013) relataram que novilhas pré-

púberes em condições adequadas de reservas de gordura podem apresentar maiores chances de atingir a puberdade em idades mais jovens, propondo que exista uma relação entre gordura corporal e desenvolvimento reprodutivo.

Vários métodos são empregados para analisar as variações de espessura de gordura subcutânea em bovinos, entretanto o mais utilizado é o aparelho de ultrassom acoplado a um transdutor linear, considerado um método rápido e não invasivo (Ayres et al., 2009). A técnica consiste nas medições de cinco regiões anatômicas específicas na região lombar e pélvica, sendo: espessura de gordura no lombo longitudinal, medida ao longo da linha longitudinal entre a 11^a e 13^a costelas, capturando três pontos distintos; espessura de gordura no lombo transversal, medida entre a 12^a e 13^a costela; espessura de gordura no vazio, medida no plano transversal do flanco; espessura de gordura da garupa transversal, medida no plano transversal mediano entre a tuberosidade do íleo e a ponta do ísquio; e espessura de gordura da garupa longitudinal, medida ao longo da garupa (Broleze et al., 2020).

Estudos tem relatado que animais CAR positivo apresentam maior deposição de gordura corporal quando comparado com animais CAR negativo (Arthur et al., 2005; Lines et al., 2014). Essa maior deposição de gordura corporal pode estar relacionada com o consumo alimentar, uma vez que animais CAR positivo apresentam maior consumo que seria esperado com base em seu peso e taxa de crescimento (Basarab et al., 2003, Lines et al., 2014). Com isso, parte dessa energia pode ser direcionada para o armazenamento de gordura em vez de ser usada eficientemente para o crescimento ou manutenção corporal (Basarab et al., 2003, Lines et al., 2014).

Animais CAR negativo consomem menos alimento ao que seria esperado com base em seu peso e taxa de crescimento, porém são mais eficientes na utilização da energia dos alimentos para o crescimento e manutenção, resultando em uma menor deposição de gordura corporal (Basarab et al., 2003, Lines et al., 2014). Segundo Shaffer et al. (2011) as diferenças na quantidade de gordura corporal e na eficiência metabólica relacionadas ao CAR podem influenciar o atraso na maturidade reprodutiva devido a variações em sua composição corporal e na forma como utilizam energia.

2.3 Consumo alimentar residual (CAR) e hormônios metabólicos

A mensuração de hormônios metabólicos pode fornecer uma avaliação mais precisa da relação entre CAR e eficiência reprodutiva. A análise de hormônios como leptina (Richardson et al., 2004) e o fator de crescimento semelhante à insulina tipo I (IGF-I) permite uma melhor compreensão da interação entre CAR e a eficiência reprodutiva (Lancaster et al., 2008; Kelly et al., 2010), uma vez que esses hormônios estão associados tanto à reprodução quanto ao estado nutricional do animal (Breier et al., 1988).

A leptina é um hormônio produzido principalmente pelo tecido adiposo, responsável pelo controle do apetite e pela regulação do metabolismo, comunicando ao cérebro a quantidade de gordura armazenada no corpo (D'Occhio et al., 2019). Ela desempenha um papel importante na regulação da reprodução, influenciando diretamente a atividade hormonal e a função reprodutiva por meio do eixo hipotálamo-hipófise (Sánchez et al., 2012; D'Occhio et al., 2019).

Basicamente, quando um animal apresenta níveis reduzidos de gordura corporal, ocorre a diminuição dos níveis de leptina no sangue (León et al., 2004; Chilliard et al., 2005). Essa diminuição leva ao aumento da expressão do neuropeptídeo Y (NPY) que se liga aos receptores Y5 nos neurônios produtores do hormônio liberador de gonadotrofina (GnRH), causando a hiperpolarização das membranas celulares e inibindo a secreção de GnRH (Sánchez et al., 2012). Essa inibição do GnRH resulta na diminuição da secreção do hormônio luteinizante (LH) e do hormônio folículo-estimulante (FSH).

Quando os níveis de gordura corporal se normalizam, as concentrações de leptina se estabilizam, o que reduz a expressão de NPY e a sua ação inibitória sobre os neurônios do GnRH ao se ligar ao receptor Y5 (Hill et al., 2008). Além disso, o aumento das concentrações de leptina estimula a expressão do gene kiss-1 no núcleo arqueado (ARC), elevando os níveis de kisspeptina e proopiomelanocortina (POMC). A POMC é processada em peptídeos como α -MSH, que, ao serem liberados no núcleo pré-óptico medial (MPO), estimulam a secreção de GnRH. A kisspeptina se liga aos receptores GPR54 localizados nos neurônios de GnRH, promovendo sua ativação e estimulando a secreção de GnRH. Esse mecanismo resulta na normalização dos níveis de LH e FSH, restaurando a função reprodutiva. Por outro lado, a β -endorfina,

outro produto da POMC, atua inibindo a liberação de GnRH, modulando o eixo reprodutivo em situações específicas como estresse ou jejum prolongado (Sánchez et al., 2012).

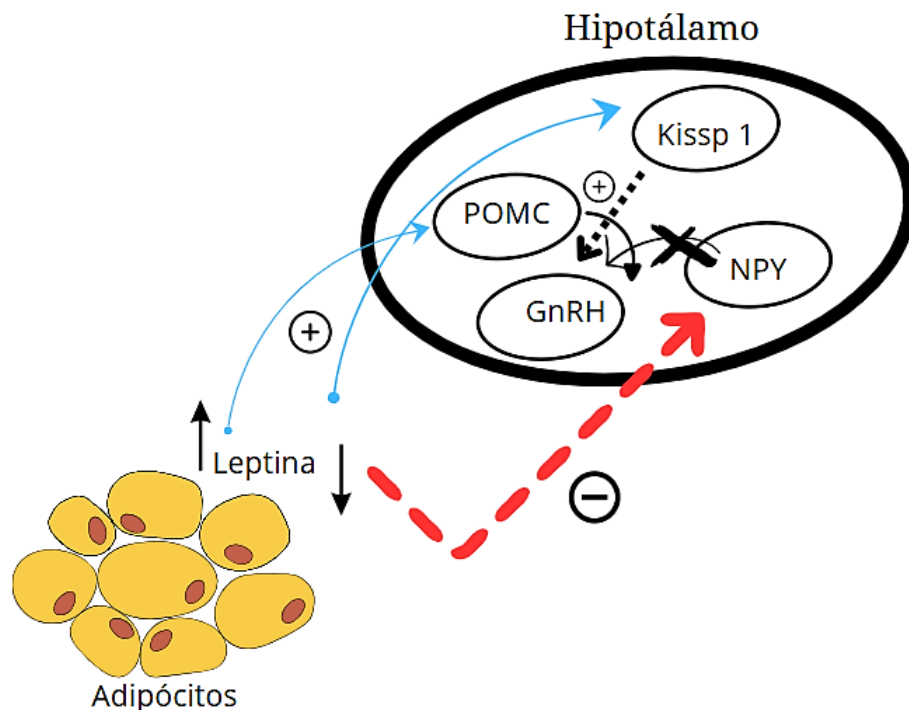


Figura 1 - Influência da leptina na regulação do GnRH. Baixa leptina aumenta NPY, inibindo o GnRH, enquanto alta leptina ativa Kiss1 e POMC, estimulando sua liberação.

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Existem estudos controversos em relação à concentração da leptina e o CAR. Nkrumah et al. (2005) relataram que polimorfismos de nucleotídeo único (SNPs) na região promotora do gene da leptina em bovinos estão associados à adiposidade, taxa de crescimento e ingestão de alimentos, mas não às medidas de eficiência alimentar. Assim como Kelly et al. (2010), que ao estudar novilhas de corte da raça Limousin x Holstein-Friesian, também não encontraram diferenças nas concentrações de leptina em relação ao CAR.

Entretanto, Richardson et al. (2004) observaram uma correlação positiva e moderada ($r = 0,31$; $P < 0,05$) entre os níveis de leptina e o CAR em animais da raça Angus, sugerindo que, à medida que os níveis de leptina aumentam, pode haver uma tendência de aumento do CAR, ou seja, os animais com maiores níveis de leptina tendem a apresentar maior CAR. Esse achado reforça a ideia de que a leptina pode desempenhar um papel importante na regulação do metabolismo energético e da

eficiência alimentar, influenciando em processos fisiológicos como a composição corporal e a resposta ao estresse, que por sua vez afetam o CAR.

O IGF-1 é um peptídeo de ação anabólica que participa de processos essenciais relacionados ao crescimento, metabolismo e função reprodutiva dos bovinos. Sua produção ocorre tanto de forma sistêmica quanto local, e diferentes tecidos reprodutivos apresentam expressão de IGF-1, de seu receptor (IGF-1R) e das proteínas ligadoras IGFBPs, sugerindo funções parácrinas e autócrinas importantes no ambiente ovariano e uterino (Rhoads et al., 2008).

A ligação do IGF-1 ao seu receptor IGF-1R possibilita sua atuação em diversas células dos tecidos reprodutivos, influenciando crescimento, desenvolvimento e manutenção da viabilidade celular. Estudos demonstram que componentes do sistema IGF, incluindo IGF-1, IGF-1R e IGFBPs, estão presentes em folículos ovarianos e no fluido folicular, indicando que o IGF-1 participa da regulação local do desenvolvimento folicular e da função ovariana em vacas (Schiffers et al., 2024).

Além disso, o IGF-1 exerce efeitos relevantes no desenvolvimento embrionário. Em bovinos, ele modula seletivamente o metabolismo e o perfil lipídico dos embriões, e esses efeitos variam conforme a cinética de desenvolvimento embrionário. Embriões de desenvolvimento rápido e lento respondem de forma distinta ao IGF-1, evidenciando que sua ação é dependente do estágio e das características metabólicas de cada embrião (Annes et al., 2023).

De maneira geral, a presença do IGF-1 e de seus elementos regulatórios nos tecidos reprodutivos, no sangue e no fluido folicular demonstra que esse fator de crescimento desempenha papel central na comunicação entre o ambiente metabólico e a função reprodutiva local em bovinos. Sua atuação contribui para o desenvolvimento folicular, para a qualidade oocitária e para a viabilidade embrionária, reforçando sua importância na fisiologia reprodutiva da espécie (Rhoads et al., 2008; Annes et al., 2023; Schiffers et al., 2024).

Alguns estudos investigaram a relação entre IGF-I e a eficiência alimentar; entretanto, os resultados têm sido divergentes (Kelly et al., 2010; Lancaster et al., 2008). Kelly et al. (2010) não encontraram diferença nas concentrações de IGF-I em bezerras da raça Holstein-Friesian x Limousin com CAR divergente. Por outro lado, Lancaster et al. (2008) observaram uma tendência ($P < 0,10$) onde novilhas Angus com níveis mais baixos de IGF-I apresentaram maior eficiência alimentar, com um

CAR de -0,26 kg/dia, em comparação a 0,24 kg/dia para aquelas com níveis mais altos de IGF-I, embora essa diferença não tenha sido significativa.

2.4 Consumo alimentar residual e preditores de fertilidade

Os preditores de fertilidade são ferramentas essenciais para avaliar a capacidade reprodutiva das fêmeas bovinas, fornecendo informações valiosas tanto para a seleção genética quanto para o descarte dos animais. Dentre esses preditores, a contagem de folículos antrais (CFA) e o hormônio anti-Mülleriano (AMH) se destacam pela sua relevância na estimativa do potencial reprodutivo (Morotti et al., 2018; Bevilaqua et al., 2022).

A CFA é um método não invasivo que permite avaliar a quantidade de folículos nos ovários de fêmeas jovens e adultas (Ireland et al., 2008), podendo ser realizada em dias aleatórios do ciclo estral, com ou sem sincronização (De Lima et al., 2020).

A técnica requer a utilização de ultrassonografia em tempo real, que permite a contagem de folículos com diâmetro igual ou superior a 3 mm (Ireland et al., 2008; Evans et al., 2012; Silva-Santos et al., 2014). Esses folículos podem ser classificados conforme seu diâmetro e quantidade (Silva-Santos et al., 2014; Morotti et al., 2022). Estudos tem relatado alta repetibilidade na CFA no mesmo indivíduo, ou seja, animais classificados com alta CFA tendem a apresentar a mesma quantidade de folículos recrutados ao longo da sua vida reprodutiva (Burns et al. 2005; Ireland et al. 2007; Morotti et al. 2017, Bevilaqua et al., 2022). Burns et al. (2005) relataram que apesar da alta variação no número de folículos durante a onda entre indivíduos, a repetibilidade (0,95) no número máximo de folículos durante as diferentes ondas foliculares no mesmo ciclo estral dentro de cada indivíduo foi alta.

Ireland et al. (2007) estudando vacas de corte relataram alta repetibilidade (0,84) no número de folículos por onda em um mesmo indivíduo durante diferentes ondas foliculares em diferentes ciclos estrais. Morotti et al. (2017) ao estudar novilhas da raça Braford desde o desmame até um ano de idade relataram que a CFA é altamente variável entre os indivíduos, porém repetível na mesma fêmea (0,89-0,92). Essa alta repetibilidade pode auxiliar na seleção de fêmeas com alta CFA no início da vida reprodutiva uma vez que, a quantidade de folículos recrutados durante a onda de desenvolvimento folicular pode ser regulada pelo próprio indivíduo.

O AMH, por sua vez, é um hormônio glicoproteico produzido pelas células da granulosa dos folículos ovarianos em desenvolvimento e tem sido amplamente utilizado como marcador endócrino da reserva folicular em fêmeas bovinas (Monniaux et al., 2014; Sakaguchi et al., 2019). Ele pertence à família dos fatores de crescimento transformantes (TGF- β) e desempenha um papel fundamental na regulação do desenvolvimento folicular, suprimindo o crescimento e a maturação dos folículos antrais, o que previne a atresia prematura e garante uma liberação ordenada dos oócitos ao longo da vida reprodutiva das fêmeas (Sakaguchi et al., 2019). A concentração de AMH está positivamente correlacionada com a CFA, o que reforça a sua utilização como um marcador de reserva folicular (Ireland et al., 2008). Uma vantagem da mensuração do AMH é que sua dosagem pode ser realizada em qualquer fase do ciclo estral, sem interferir nos resultados (Pfeiffer et al., 2014).

O diâmetro ovariano também pode ser utilizado como um indicador de CFA. Bevilaqua et al. (2022) relataram que a biometria ovariana foi capaz de predizer a CFA em novilhas pré-púberes da raça Nelore, com um coeficiente de correlação de Pearson de 0,66 ou superior ($P < 0,0001$), indicando uma forte relação entre os parâmetros. De forma semelhante, Morotti et al. (2018) observaram que fêmeas Nelore classificadas com alta CFA apresentaram maiores medições ovarianas (diâmetro de $7,3 \pm 2,2$ mm em comparação a $6,2 \pm 1,4$ mm em novilhas com baixa CFA). Além disso, o diâmetro do folículo ovulatório foi maior em vacas com baixa CFA ($14,4 \pm 1,5$ mm) em comparação às de alta CFA ($13,4 \pm 2,1$ mm, $P = 0,08$).

Outro preditor de fertilidade que vem sendo amplamente utilizado é a análise morfométrica das características da genitália externa, como o comprimento de rima vulvar, largura de vulva e distância anogenital. Estudos têm demonstrado que essas características podem ser bons indicadores da eficiência reprodutiva em fêmeas bovinas (Vasconcelos et al. 2020; Maculan et al., 2007; Gobikrushanth et al., 2017; Akbarinejad et al., 2019; Grala et al., 2021).

O comprimento de rima vulvar e a largura de vulva são parâmetros morfométricos que, quando medidos, podem oferecer informações sobre a vida reprodutiva da fêmea. Vasconcelos et al. (2020) relataram que a morfometria vulvar pode ser um indicador da reserva ovariana em fêmeas bovinas. Assim como, Maculan et al., (2007) observaram associação entre a largura da vulva e a CFA em vacas da

raça Tabapuã ($8,81 \pm 0,12$ cm para baixa CFA, $8,42 \pm 0,11$ para média, e $8,38 \pm 0,13$ cm para alta CFA, respectivamente).

A distância anogenital, por sua vez, também tem se mostrado um indicador de fertilidade em vacas leiteiras (Gobikrushanth et al., 2017; Akbarinejad et al., 2019) e de corte (Grala et al., 2021). Estudos indicam que a distância anogenital pode estar associada à fertilidade das fêmeas bovinas, sugerindo que aquelas com maior distância anogenital podem ter uma fertilidade reduzida (Gobikrushanth et al., 2017; Akbarinejad et al., 2019; Grala et al., 2021).

Akbarinejad et al. (2019) relataram que fêmeas com maior distância anogenital ($111,51 - 144,74$ mm) apresentaram um intervalo maior entre o parto e a concepção ($194,30 \pm 17,12$ dias) em comparação com fêmeas com menor distância anogenital ($83,40 - 111,40$ mm) ($147,14 \pm 13,11$ dias). Além disso, Gobikrushanth et al. (2017) observaram relação inversa entre a distância anogenital e a ocorrência de prenhez por inseminação artificial.

A distância anogenital apresenta herdabilidade moderada ($0,37 \pm 0,08$), o que significa que uma parte da variação observada pode ser atribuída à fatores genéticos (Gobikrushanth et al. 2017). A mensuração da distância anogenital pode, assim, ser uma medida útil em programas de seleção, ajudando os produtores a identificarem fêmeas com maior potencial reprodutivo e, conseqüentemente, aumentando a eficiência da reprodução.

2.5 Consumo alimentar residual e reprodução animal

De acordo com estimativas da Organização das Nações Unidas (ONU), a população mundial continuará em crescimento pelas próximas cinco a seis décadas, atingindo um pico aproximado de 10,3 bilhões de pessoas por volta da década de 2080 (United Nations, 2024). Nesse contexto, projeta-se um aumento significativo na demanda por alimentos de origem vegetal e animal. Diante disso, o uso de técnicas reprodutivas desempenha um papel essencial na obtenção de um maior número de animais. A associação de práticas reprodutivas a métodos que visam a redução dos custos de produção, como o consumo alimentar residual (CAR), pode diminuir o impacto do custo de produção, possibilitando a criação de mais animais com um custo

de alimentação moderado. No entanto, ainda existem divergências em relação à seleção de animais baseada no CAR e seu impacto na reprodução.

Shaffer et al. (2011) relataram que novilhas de corte de um ano de idade classificadas como alto CAR atingiram a puberdade mais cedo do que as classificadas como baixo CAR ($414 \pm 3,83$ vs. $427 \pm 4,67$ dias de idade, $P = 0,03$). Além disso, observaram uma relação linear negativa entre o CAR e a idade à puberdade, de modo que cada aumento de uma unidade no CAR correspondia a uma redução de 7,5 dias na idade à puberdade. Da mesma forma, Crowley et al. (2011), com base nas correlações genéticas estimadas, encontraram uma correlação negativa de $-0,55 \pm 0,14$ entre a idade ao primeiro parto e a taxa de conversão alimentar, indicando que animais mais eficientes apresentam um atraso na idade ao primeiro parto. Basarab et al. (2007) relataram que vacas que produziram bezerros eficientes para CAR pariram de 5 a 6 dias mais tarde, em média, do que vacas que produziram bezerros ineficientes, sugerindo a importância de monitorar a aptidão reprodutiva de fêmeas selecionadas para eficiência alimentar.

Em contraste, Ferreira Júnior et al. (2018) relataram que novilhas com baixo CAR apresentaram idade ao primeiro parto mais precoce do que as novilhas com alto CAR, entretanto, não houve diferença na presença de corpo lúteo (CL) entre os grupos. Blair et al. (2013), ao estudarem novilhas de corte produzidas por touros eficientes e ineficientes, não encontraram associação significativa entre o CAR e taxa de prenhez, taxa de concepção ao primeiro serviço ou dias ao parto ($P > 0,10$). De maneira similar, Arthur et al. (2005) não observaram diferenças nas taxas de prenhez (média de 90,4%) e parto (média de 88,7%) entre fêmeas selecionadas para alto e baixo CAR após 1,5 gerações de seleção.

Parson et al. (2021) relataram que a classificação para CAR não influenciou o dia do nascimento, intervalo entre partos ou intervalo pós-parto ($P \geq 0,15$) em fêmeas da raça Angus, o que sugere que a seleção para CAR após o desmame apresenta efeitos mínimos na eficiência reprodutiva. Canal et al. (2020), ao analisar a puberdade com base na concentração de progesterona em novilhas Angus, Brangus e Braford, relataram que novilhas com baixo e médio CAR atingiram a puberdade em idades mais jovens em comparação com as de alto CAR, o que destaca a concentração de progesterona como um forte indicador de puberdade em novilhas (Cooke e Arthington et al., 2009).

Por outro lado, Reynolds et al. (2018) observaram que fêmeas taurinas selecionadas para eficiência alimentar apresentaram diferenças no desenvolvimento do trato reprodutivo, utilizado para avaliar o potencial de fertilidade em novilhas. Os autores concluíram que mais pesquisas são necessárias para avaliar se a seleção de animais mais eficientes afeta a ciclicidade e a fertilidade.

REFERÊNCIAS

Akbarinejad V, Gharagozlou F, Voigani M, Shourabi E, Makiabadi MJM (2019) Inferior fertility and higher concentrations of anti-Müllerian hormone in 539 dairy cows with longer anogenital distance. **Domestic Animal Endocrinology**, 68:47–53, doi:10.1016/j.domaniend.2019.01.011.

Albertini TZ, Medeiros SR de, Gomes RC, Feltrin GB (2015) Fórmulas para estimação de ingestão de bovinos de corte. In: Medeiros SR de, Gomes RC, Bungenstab DJ (Eds.) **Nutrição de bovinos de corte: fundamentos e aplicações**. Embrapa, Brasília, DF, 12 p.

Arthur PF, Archer JA, Johnston DJ, Herd RM, Richardson EC, Parnell PF (2001) Genetic and phenotypic variance and covariance components for feed intake, feed efficiency, and other postweaning traits in Angus cattle. **Journal of Animal Science**, 79(11):2805–2811, doi:10.2527/2001.79112805x.

Arthur PF, Herd RM, Wilkins JF, Archer JA (2005) Maternal productivity of Angus cows divergently selected for post-weaning residual feed intake. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, 45(7–8):985–993, doi:10.1071/EA05052.

Ayres H, Ferreira RM, Torres-Júnior JRS, Demétrio CGB, Lima CG de, Baruselli PS (2009) Validation of body condition score as a predictor of subcutaneous fat in Nelore (*Bos indicus*) cows. **Livestock Science**, 123:175–179, doi:10.1016/j.livsci.2008.11.004.

Basarab JA, Beauchemin KA, Baron VS, Ominski KH, Guan LL, Miller SP, Crowley JJ (2013) Reducing GHG emissions through genetic improvement for feed efficiency: effects on economically important traits and enteric methane production. **Animal**, 7(S2):303–315, doi:10.1017/S1751731113000888.

Basarab JA, McCartney D, Okine EK, Baron VS (2007) Relationships between progeny residual feed intake and dam productivity traits. **Canadian Journal of Animal Science**, 87(4):489–502.

Berry DP, Crowley JJ (2013) Cell biology symposium: genetics of feed efficiency in dairy and beef cattle. **Journal of Animal Science**, 91:1594–1613, doi:10.2527/jas.2012-5862.

Bevilaqua JR, Rodrigues NN, Rossi GF, Pupin MAF, Silva MO, Borges MS, Fernandes LG, Mercadante MEZ, Monteiro FM, Oliveira MEF (2022) Effect of follicular wave stage on potential fertility predictors and their repeatability coefficient in prepubertal *Bos indicus* (Nelore) and *Bos taurus* (Caracu) heifers. **Animal**, 16:100678, doi:10.1016/j.animal.2022.100678.

Blair EE, Minick Bormann J, Moser DW, Marston TT (2013) Relationship between residual feed intake and female reproductive measurements in heifers sired by high- or low-residual feed intake Angus bulls. **Professional Animal Scientist**, 29(1):46–50, doi:10.15232/S1080-7446(15)30194-7.

Breier BH, Gluckman PD, Bass JJ (1988) Influence of nutritional status and oestradiol-17 on plasma growth hormone, insulin-like growth factors-I and -II and the response to exogenous growth hormone in young steers. **Journal of Endocrinology**, 118(2):243–250, doi:10.1677/joe.0.1180243.

Broleze DF, Souza LL, Zorzetto MF, Savegnago RP, Negrão JA, Bonilha SFM, Mercadante MEZ (2020) Feed efficiency and maternal productivity of *Bos indicus* beef cows. **PLOS ONE**, 15(6):e0233926, doi:10.1371/journal.pone.0233926.

Burns DS, Jimenez-Krassel F, Ireland JLH, Knight PG, Ireland JJ (2005) Numbers of antral follicles during follicular waves in cattle: evidence for high variation among animals, very high repeatability in individuals, and an inverse association with serum follicle-stimulating hormone concentrations. **Biology of Reproduction**, 73(1):54–62, doi:10.1095/biolreprod.104.036277.

Canal LB, Fontes PLP, Sanford CD, Mercadante VRG, DiLorenzo N, Lamb GC, Oosthuizen N (2020) Relationships between feed efficiency and puberty in *Bos taurus* and *Bos indicus*-influenced replacement beef heifers. **Journal of Animal Science**, doi:10.1093/jas/skaa319.

Cassady JM, Maddock TD, DiCostanzo A, Lamb GC (2009) Body composition and estrous cyclicity responses of heifers of distinct body conditions to energy restriction and repletion. **Journal of Animal Science**, 87:2255–2261, doi:10.2527/jas.2008-1715.

Chilliard Y, Delavaud C, Bonnet M (2005) Leptin expression in ruminants: nutritional and physiological regulations in relation with energy metabolism. **Domestic Animal Endocrinology**, 29:3–22.

Cooke RF, Arthington JD, Austin BR, Yelich JV (2009) Effects of acclimation to handling on performance, reproductive, and physiological responses of Brahman-crossbred heifers. **Journal of Animal Science**, 87(10):3403–3412, doi:10.2527/jas.2009-1910.

Crowley JJ, Evans RD, McHugh N, Pabiou T, Kenny DA, McGee M, Crews DH, Berry DP (2011) Genetic associations between feed efficiency measured in a performance test station and performance of growing cattle in commercial beef herds. **Journal of Animal Science**, 89(11):3382–3393, doi:10.2527/jas.2011-3836.

D'Occhio MJ, Baruselli PS, Campanile G (2019) Influence of nutrition, body condition, and metabolic status on reproduction in female beef cattle: a review. **Theriogenology**, 125:277–284, doi:10.1016/j.theriogenology.2018.11.010.

De Lima MA, Morotti F, Bayeux BM, De Rezende RG, Botigelli RC, De Bem THC, Fontes PK, Nogueira MFG, Meirelles FV, Baruselli PS, Da Silveira JC, Perecin F, Seneda MM (2020) Ovarian follicular dynamics, progesterone concentrations, pregnancy rates and transcriptional patterns in *Bos indicus* females with a high or low antral follicle count. **Scientific Reports**, 10:76601, doi:10.1038/s41598-020-76601-5.

Donoghue KA, Arthur PF, Wilkins JF, Herd RM (2011) Onset of puberty and early-life reproduction in Angus females divergently selected for post-weaning residual feed intake. **Animal Production Science**, 51:183–190, doi:10.1071/AN10097.

Evans A, Mossa F, Walsh S, Scheetz D, Jimenez-Krassel F, Ireland J, Ireland J (2012) Effects of maternal environment during gestation on ovarian folliculogenesis and consequences for fertility in bovine offspring. **Reproduction in Domestic Animals**, 47:31–37, doi:10.1111/j.1439-0531.2012.02052.x.

Ferreira Júnior RJ, Bonilha SFM, Monteiro FM, Cyrillo JNSG, Branco RH, Vasconcelos JAO, Mercadante MEZ (2018) Evidence of negative relationship between female fertility and feed efficiency in Nellore cattle. **Journal of Animal Science**, 96:4035–4044, doi:10.1093/jas/sky276.

Gobikrushanth M, Bruinje TC, Colazo MG, Butler ST, Ambrose DJ (2017) Characterization of anogenital distance and its relationship to fertility in lactating Holstein cows. **Journal of Dairy Science**, 100(12):9815–9823, doi:10.3168/jds.2017-13033.

Grala TM, Price MD, Kuhn-Sherlock B, Burke CR, Meier S (2021) Investigating anogenital distance and antral follicle count as novel markers of fertility within a herd of cows with positive or negative genetic merit for fertility traits. **Journal of Dairy Science**, 104:12939–12952, doi:10.3168/jds.2020-19948.

Guzmán Sánchez A, Rosales-Torres AM, Gutiérrez Aguilar CG (2012) Neuroendocrine effects of insulin, IGF-I and leptin on the secretion of the gonadotropin-releasing hormone (GnRH). **Tropical and Subtropical Agroecosystems**, 15:S79–S90.

Henderson CR (1975) Best linear unbiased estimation and prediction under a selection model. **Biometrics**, 31:423–447.

Hill JW, Elmquist JK, Elias CF (2008) Hypothalamic pathways linking energy balance and reproduction. **American Journal of Physiology – Endocrinology and Metabolism**, 294:E827–E832, doi:10.1152/ajpendo.00670.2007.

Ireland JJ, Ward F, Jimenez-Krassel F, Ireland JLH, Smith GW, Lonergan P, Evans ACO (2007) Follicle numbers are highly repeatable within individual animals but are inversely correlated with FSH concentrations and the proportion of good-quality embryos after ovarian stimulation in cattle. **Human Reproduction**, 22(6):1687–1695, doi:10.1093/humrep/dem071.

Ireland JLH, Scheetz D, Jimenez-Krassel F, Themmen APN, Ward F, Lonergan P, Smith GW, Perez GI, Evans ACO, Ireland JJ (2008) Antral follicle count reliably predicts number of morphologically healthy oocytes and follicles in ovaries of young adult cattle. **Biology of Reproduction**, 79(6):1219–1225, doi:10.1095/biolreprod.108.071670.

Kelly AK, McGee M, Crews DH, Fahey AG, Wylie AR, Kenny DA (2010) Effect of divergence in residual feed intake on feeding behavior, blood metabolic variables, and body composition traits in growing beef heifers. **Journal of Animal Science**, 88(1):109–123, doi:10.2527/jas.2009-2196.

Khansefid M, Pryce JE, Bolormaa S, Miller SP, Wang Z, Li C, Goddard ME (2014) Estimation of genomic breeding values for residual feed intake in a multibreed cattle population. **Journal of Animal Science**, 92(7):3270–3283, doi:10.2527/jas2014-7375.

Koch RM, Swiger LA, Chambers D, Gregory KE (1963) Efficiency of feed use in beef cattle. **Journal of Animal Science**, 22(2):486–494, doi:10.2527/jas1963.222486x.

Lancaster PA, Carstens GE, Ribeiro FRB, Davis ME, Lyons JG, Welsh TH Jr (2008) Effects of divergent selection for serum insulin-like growth factor-I concentration on performance, feed efficiency, and ultrasound measures of carcass composition traits in Angus bulls and heifers. **Journal of Animal Science**, 86:2862–2871, doi:10.2527/jas.2008-1083.

León HV, Hernández-Cerón J, Keisler DH, Gutierrez CG (2004) Plasma concentrations of leptin, insulin-like growth factor-I, and insulin in relation to changes in body condition score in heifers. **Journal of Animal Science**, 82:445–451, doi:10.2527/2004.822445x.

Lima NLL, Pereira IG, Ribeiro JS (2013) Consumo alimentar residual como critério de seleção para eficiência alimentar. **Acta Veterinaria Brasilica**, 7(4):255–260.

Lines DS, Pitchford WS, Bottema CDK, Herd RM, Oddy VH (2014) Selection for residual feed intake affects appetite and body composition rather than energetic efficiency. **Animal Production Science**, 58(1):175–184, doi:10.1071/AN13321.

Maculan R, Pinto TLC, Moreira GM, Vasconcelos GL, Sanches JA, Rosa RG, Bonfim RR, Gonçalves TM, De Souza JC (2017) Anti-Müllerian hormone (AMH), antral follicle count (AFC), external morphometrics and fertility in Tabapuã cows. **Animal Reproduction Science**, 189:84–92, doi:10.1016/j.anireprosci.2017.12.011.

Misztal I, Tsuruta S, Lourenco D, Aguilar I, Legarra A, Vitezica Z (2018) **Manual for BLUPF90 family of programs**. University of Georgia, Athens.

Monniaux D, Clément F, Dalbiès-Tran R, Estienne A, Fabre S, Mansanet C, Monget P (2014) The ovarian reserve of primordial follicles and the dynamic reserve of antral growing follicles: what is the link? **Biology of Reproduction**, 90(4):85, doi:10.1095/biolreprod.113.117077.

Morotti F, Miguez-Gonzalez S, Cerezetti MB, Seneda MM (2022) Evaluation of three classification methods of antral follicle count and fertility to the timed artificial insemination in cattle. **Animal Reproduction**, 19(1), doi:10.1590/1984-3143-AR2021-0121.

Morotti F, Moretti R, Santos GMG, Silva-Santos KC, Cerqueira PHR, Seneda MM (2018) Ovarian count dynamics and conception rate in Bos indicus cows with count antral follicle counts subjected to timed artificial insemination. **Animal Reproduction Science**, 188:170–177, doi:10.1016/j.anireprosci.2017.12.001.

Morotti F, Zangirolamo AF, Silva NC, Silva CB, Rosa CO, Seneda MM (2017) Antral follicle count in cattle: advantages, challenges, and controversy. **Animal Reproduction**, 14(3):514–520, doi:10.21451/1984-3143-AR994.

Nkrumah JD, Li C, Yu J, Hansen C, Keisler DH, Moore SS (2005) Polymorphisms in the bovine count promoter associated with count concentration, growth, feed intake, feeding behavior, and measures of carcass merit. **Journal of Animal Science**, 83(1):20–28, doi:10.2527/2005.83120x.

Parsons CT, Dafoe JM, Wyffels AS, Van Emon M, DelCurto T, Boss DL (2021) Impacts of heifer postweaning residual feed intake classification on reproductive and performance measurements of first-, second-, and third-parity Angus beef females. **Translational Animal Science**, 5:1–9, doi:10.1093/tas/txab061.

Pfeiffer KE, Jury LJ, Larson JE (2014) Determination of anti-Müllerian hormone at estrus during a synchronized and a natural bovine estrous cycle. *Domestic Animal Endocrinology*, 46:58–64, doi:10.1016/j.domaniend.2013.05.004.

Randel RD, Welsh TH Jr (2013) Interactions of feed efficiency with beef heifer reproductive development. **Journal of Animal Science**, 91:1323–1328, doi:10.2527/jas2012-5679.

Reynolds MK, Chibisa GE, Ahmadzadeh A, Hall JB (2018) Reproductive development and fertility traits among heifers in count residual feed intake groups. **Translational Animal Science**, 2(1):175–179, doi:10.1093/tas/txy039.

Richardson EC, Herd RM (2004) Biological basis for variation in residual feed intake in beef cattle. 2. Synthesis of results following 180unt18lar18 selection. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, 44:431–440, doi:10.1071/EA02221.

Sakaguchi K, Yanagawa Y, Yoshioka K, Suda T, Katagiri S, Nagano M (2019) Relationships between the antral follicle 180unt, steroidogenesis, and secretion of follicle-stimulating hormone and anti-Müllerian hormone during 180unt18lar growth in cattle. **Reproductive Biology and Endocrinology**, 17:53, doi:10.1186/s12958-019-0534-3.

Shaffer KS, Turk P, Wagner WR, Felton EED (2011) Residual feed intake, body composition, and fertility in yearling beef heifers. **Journal of Animal Science**, 89(4):1028–1034, doi:10.2527/jas.2010-3322.

Silva-Santos K, Santos G, Koetz Júnior C, Morotti F, Siloto L, Marcantonio T, Seneda M (2014) Antral follicle populations and embryo production in vitro and in vivo of *Bos indicus*–*taurus* 180unt from weaning to yearling ages. **Reproduction in Domestic Animals**, 49(2):228–232, doi:10.1111/rda.12255.

United Nations (2024) **World Population Prospects 2024: Summary of Results**. United Nations, New York.

Vasconcelos GL, Cunha EV, Maculan R, Viafara JAS, Silva AWB, Batista ALS, Silva JRV, De Souza JC (2020) Effects of vulvar width and antral follicle 180unt on oocyte quality, in vitro embryo production and pregnancy rate in *Bos taurus taurus* and *Bos taurus indicus* cows. **Animal Reproduction Science**, 217:106357, doi:10.1016/j.anireprosci.2020.106357.

CAPÍTULO 2 - EFEITO DA SELEÇÃO GENÉTICA PARA CONSUMO ALIMENTAR RESIDUAL SOBRE OS PREDITORES DE FERTILIDADE EM NOVILHAS NELORE (*BOS INDICUS*)

Resumo – A seleção baseada no menor consumo alimentar residual (CAR) é uma alternativa para identificar animais com menor ingestão alimentar sem comprometer a produtividade. No entanto, o impacto da seleção para maior eficiência alimentar (CAR negativo) sobre características reprodutivas ainda não foi totalmente elucidado. O valor genético (no caso para CAR, VG CAR) é uma ferramenta acurada que considera os efeitos fixos e aleatórios, como o genético aditivo, permitindo identificar indivíduos geneticamente superiores e impulsionando programas de melhoramento animal. O presente estudo teve como objetivo avaliar se preditores de fertilidade, como morfometria vulvar, ecogenicidade e ecotextura uterina, biometria ovariana, contagem de folículos antrais (CFA) e presença de corpo lúteo (CL), são influenciados pelo valor genético do CAR (VG CAR), bem como investigar o impacto da seleção para maior eficiência alimentar (VG CAR negativo) nas concentrações de hormônios reprodutivos. Foram avaliadas 199 novilhas Nelore, das quais 94 com VG CAR negativo e 105 com VG CAR positivo, submetidas a exames ultrassonográficos e dosagens hormonais de 17,5 a 23,5 meses de idade. Durante a estação de monta, 172 novilhas foram inseminadas por IATF e avaliadas quanto à taxa de gestação aos 30 dias. A análise estatística incluiu variáveis como comprimento da rima vulvar, contagem de folículos antrais (CFA), IGF-1, leptina, AMH, EGG, CL e taxa de gestação. Os dados foram analisados usando ANOVA para medidas repetidas, com os procedimentos MIXED e GLIMMIX no SAS® (versão 9.4), ajustando os efeitos fixos de momento de avaliação e VG CAR. As médias foram comparadas entre os grupos de VG CAR usando o teste t ($P \leq 0,05$). A relação entre CFA e AMH foi avaliada por regressão linear simples no software R (R Core Team, 2024), com a qualidade do ajuste verificada pelo coeficiente de determinação (R^2). Novilhas com VG CAR negativo apresentaram maiores ($P < 0,05$) medidas de comprimento da rima vulvar, distância anogenital e diâmetro ovariano ($P = 0,01$) em comparação às novilhas com VG CAR positivo. Não houve diferenças entre os grupos de VG CAR para largura vulvar, CFA, diâmetro folicular, ecogenicidade uterina, ecotextura uterina, taxa de presença de corpo lúteo e taxa de gestação aos 30 dias ($P > 0,05$). As concentrações séricas de IGF-1, leptina e hormônio anti-Mülleriano (AMH) também não diferiram

entre as classes, mas apresentaram variações ao longo dos meses ($P < 0,0001$). O AMH demonstrou correlação positiva com a CFA ($r = 0,35$), indicando que 35% da variação na CFA pode ser explicada por esse hormônio. Não foram observadas associações entre CAR e as espessuras de gordura no lombo e na garupa. Esses resultados sugerem que, apesar das diferenças em algumas características morfométricas, a eficiência alimentar medida pelo CAR não afeta diretamente os indicadores de fertilidade e o desempenho reprodutivo de novilhas Nelore.

Palavras-chave: características reprodutivas, eficiência alimentar, indicadores de fertilidade, produção animal, reprodução animal

Abstract – Selection based on lower residual feed intake (RFI) is an alternative approach to identify animals with reduced feed intake without compromising productivity. However, the impact of selection for greater feed efficiency (negative RFI) on reproductive traits has not yet been fully elucidated. Estimated breeding value (in this case, RFI EBV) is an accurate tool that accounts for fixed and random effects, such as additive genetic effects, enabling the identification of genetically superior individuals and supporting animal breeding programs. The present study aimed to evaluate whether fertility predictors, including vulvar morphometry, uterine echogenicity and echotexture, ovarian biometry, antral follicle count (AFC), and presence of corpus luteum (CL), are influenced by RFI EBV, as well as to investigate the impact of selection for greater feed efficiency (negative RFI EBV) on reproductive hormone concentrations. A total of 199 Nelore heifers were evaluated, of which 94 had negative RFI EBV and 105 had positive RFI EBV. Animals underwent ultrasonographic examinations and hormonal assays between 17.5 and 23.5 months of age. During the breeding season, 172 heifers were inseminated using fixed-time artificial insemination (FTAI) and pregnancy rate was assessed at 30 days. Statistical analyses included variables such as vulvar rima length, antral follicle count (AFC), IGF-1, leptin, AMH, EGG, CL, and pregnancy rate. Data were analyzed using repeated-measures ANOVA with the MIXED and GLIMMIX procedures in SAS® (version 9.4), adjusting for the fixed effects of evaluation time and RFI EBV. Means were compared between RFI EBV groups using the t-test ($P \leq 0.05$). The relationship between AFC and AMH was evaluated by simple linear regression using R software (R Core Team,

2024), and model fit was assessed by the coefficient of determination (R^2). Heifers with negative RFI EBV exhibited greater ($P < 0.05$) vulvar rima length, anogenital distance, and ovarian diameter ($P = 0.01$) compared with heifers with positive RFI EBV. No differences were observed between RFI EBV groups for vulvar width, AFC, follicular diameter, uterine echogenicity, uterine echotexture, corpus luteum presence rate, or pregnancy rate at 30 days ($P > 0.05$). Serum concentrations of IGF-1, leptin, and anti-Müllerian hormone (AMH) also did not differ between classes, although they varied over the months evaluated ($P < 0.0001$). AMH showed a positive correlation with AFC ($r = 0.35$), indicating that 35% of the variation in AFC could be explained by this hormone. No associations were observed between RFI and backfat or rump fat thickness. These results suggest that, despite differences in certain morphometric traits, feed efficiency measured by RFI does not directly affect fertility indicators or reproductive performance in Nellore heifers.

Keywords: reproductive traits, feed efficiency, fertility indicators, animal production, animal reproduction

1. INTRODUÇÃO

A alimentação representa a maior parcela dos custos na produção de carne bovina, o que torna a eficiência alimentar uma das estratégias mais importantes para sustentabilidade do sistema de produção. Nesse contexto, o Consumo Alimentar Residual (CAR), proposto por Koch et al. (1963), destaca-se como uma ferramenta fundamental, permitindo identificar animais que consomem menos alimento sem comprometer o peso e o ganho de peso. Animais classificados como CAR negativo, ou seja, mais eficientes, consomem menos alimento para o mesmo nível de produção que animais CAR positivo (menos eficientes).

A partir dos valores fenotípicos de CAR, é possível realizar análises genéticas avançadas utilizando programas da família BLUPF90+ (Misztal et al., 2018), que integram informações de fenótipos, pedigree e dados genômicos, como SNPs. Por meio da metodologia Best Linear Unbiased Predictor (BLUP) (Henderson, 1975), são estimados os valores genéticos (VG) dos indivíduos, conferindo maior acurácia na seleção de animais superiores para eficiência alimentar. Essa abordagem permite que a seleção seja baseada não apenas no desempenho próprio, mas também no mérito

genético, aumentando o ganho genético e a efetividade dos programas de melhoramento.

Embora o CAR apresente benefícios econômicos, alguns estudos apontam uma possível relação antagônica entre a eficiência alimentar e o desempenho reprodutivo (Shaffer et al., 2011; Ferreira Junior et al., 2018; Catussi et al., 2020). Shaffer et al. (2011) relataram que fêmeas CAR positivo apresentaram maior acúmulo de gordura corporal e atingiram a puberdade mais cedo do que as fêmeas CAR negativo, e Ferreira Junior et al. (2018) encontram correlação genética mediana e negativa (desfavorável) entre CAR e days to calving. De forma semelhante, Catussi et al. (2020) observaram que novilhas Nelore classificadas como CAR negativo apresentaram menor espessura de gordura subcutânea e taxas de prenhez inferiores em inseminações artificiais em tempo fixo (IATF). No entanto, outros estudos não identificaram efeitos significativos do CAR sobre características reprodutivas, como puberdade e fertilidade (Blair et al., 2013; Arthur et al., 2005), evidenciando a existência de controvérsias sobre essa relação.

Nesse cenário, a utilização de preditores de fertilidade tem se mostrado uma estratégia importante para avaliar a capacidade reprodutiva de fêmeas bovinas, fornecendo subsídios tanto para programas de seleção genética quanto para decisões de manejo. Dentre esses preditores, destacam-se a contagem de folículos antrais (CFA) e o hormônio anti-Mülleriano (AMH), ambos altamente correlacionados e reconhecidos como indicadores consistentes da reserva ovariana (Ireland et al., 2008; Morotti et al., 2017; Monniaux et al., 2014). A CFA, obtida por ultrassonografia, apresenta alta repetibilidade dentro do mesmo indivíduo ao longo da vida produtiva, refletindo o potencial reprodutivo (Burns et al., 2005; Ireland et al., 2007; Bevilacqua et al., 2022). De maneira complementar, a dosagem de AMH, um marcador endócrino da reserva folicular, pode ser realizada em qualquer fase do ciclo estral, reforçando sua aplicabilidade prática (Pfeiffer et al., 2014). Além desses, características morfométricas da genitália externa, como comprimento de rima vulvar, largura de vulva e distância anogenital, também têm sido associadas à fertilidade em bovinos, sendo ferramentas promissoras para auxiliar na seleção de fêmeas com maior potencial reprodutivo (Vasconcelos et al., 2020; Grala et al., 2021).

Diante disso, este estudo teve como objetivo comparar novilhas Nelore classificadas como CAR negativo e CAR positivo através do valor genético predito em

relação aos preditores de fertilidade, incluindo características reprodutivas e metabólicas. A análise abrangeu desde biometria ovariana e contagem de folículos antrais até a concentração de hormônios reprodutivos e espessura de gordura subcutânea, buscando compreender os efeitos da eficiência alimentar na reprodução e fornecer informações importantes para a seleção de fêmeas bovinas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização e animais

O estudo foi realizado no Beef Research Center, Institute of Animal Science, Sertãozinho, SP, Brazil (21°10'37" de latitude sul e 48°05'40" de longitude oeste). Foram utilizadas novilhas Nelore (n=199) nascidas em 2020 e 2021, com a idade e peso inicial de $17,7 \pm 0,86$ meses e $243 \pm 42,65$ kg, respectivamente. As fêmeas apresentavam escore de condição corporal inicial de $3,42 \pm 0,07$ em uma escala em que 1 é o escore atribuído a animais extremamente magros, e 9 é o escore atribuído a animais extremamente gordos (Wagner et al., 1988). Os animais foram mantidos juntos durante o período do experimento, em pastagem de capim *Urochloa brizantha*, com acesso *ad libitum* a sal mineral e água.

2.2 Delineamento Experimental

As novilhas foram submetidas a uma sequência de sete avaliações ultrassonográficas, realizadas mensalmente, com início em abril e término em outubro, nos anos de 2022 e 2023. Todas as novilhas foram genotipadas (GeneSeek Genomic Profiler HDi 50K), e seus VG CAR foram estimados. Das 100 novilhas nascidas em 2020, 46 apresentaram VG CAR negativo (variando de -0,374 a -0,011 kg de MS/dia), e 54 VG CAR positivo (variando de 0,369 a 0,003 kg/dia); e das 99 novilhas nascidas em 2021, 48 apresentaram VG CAR negativo (variando de -0,462 a -0,004 kg/dia), e 51 VG CAR positivo (variando de 0,366 a 0,005 kg/dia). Os indicadores de fertilidade coletados incluíram contagem de folículos antrais (CFA), diâmetro ovariano (XOV), diâmetro do maior folículo antral (Diam fol) e ecogenicidade e ecotextura uterina. Além

disso, foram obtidas as espessuras de gordura subcutânea no lombo (EGL, mm) e na garupa (EGG, mm) em todas as fêmeas.

Foram realizadas as análises de leptina e do fator de crescimento semelhante à insulina 1 (IGF-1) de todas as coletas, para isso foram selecionadas 18 fêmeas com VG CAR extremo negativo (nove de 2021 e nove de 2022) e 18 fêmeas com VG CAR extremo positivo (nove de 2021 e nove de 2022). Já para a análise de AMH foram utilizadas três coletas, sendo uma inicial, uma intermediária e uma final; para isso foram escolhidas 16 fêmeas com VG CAR extremo negativo (oito de 2021 e oito de 2022) e 16 fêmeas com VG CAR extremo positivo (oito de 2021 e oito de 2022).

2.3 Valor genômico predito do consumo alimentar residual (VG-CAR)

Os valores genéticos para CAR (kg de matéria seca/dia) dos animais avaliados no presente estudo foram obtidos a partir da avaliação genética de 2.621 animais com fenótipo de CAR. A avaliação genética incluiu genótipos de animais genotipados com três painéis de Single Nucleotide Polymorphisms (SNP's) de densidades diferentes: 781 animais com o painel Illumina BovineHD BeadChip 770K (Illumina INC., San Diego, CA, EUA), 1.320 animais com o painel GeneSeek Genomic Profiler HDi 75K (GeneSeek Inc., Lincoln, NE, EUA) e 520 animais, com painel GeneSeek Genomic Profiler HDi 50K (GeneSeek INC., Lincoln, NE, EUA). Os animais genotipados com painéis de média densidade (50K e 75K) foram imputados para 770K, com precisão de 0,98, utilizando o software FImpute 3 (Sargolzaei, 2014). Todos os animais da população de referência de imputação foram genotipados com o chip 770k HD. O controle de qualidade dos genótipos foi realizado mantendo apenas marcadores SNP autossômicos com frequência alélica menor (MAF) > 0,05, valor $p > 10^{-5}$ para equilíbrio de Hardy-Weinberg, call-rate > 90% para marcadores e amostras. Após controle de qualidade restaram genótipos de 2.618 animais e 384.019 SNP.

Os VG CAR foram estimados a partir de modelo animal one-trait por meio do método BLUP genômico de etapa única (ssGBLUP) implementado usando o software BLUPf90+ (Misztal et al., 2018). O modelo utilizado foi:

$$y = Xb + Za + e,$$

onde **y** é o vetor de observações (CAR), **b** é o vetor dos efeitos fixos, **a** é o vetor do efeito genético aditivo direto, **e** é o vetor dos efeitos residuais e **X** e **Z** são as matrizes

de incidência que relacionam as observações dos efeitos fixos e efeitos genéticos aditivo direto, respectivamente. Os grupos de contemporâneos foram formados por animais avaliados no mesmo teste de eficiência (ano de nascimento e data do teste). O efeito linear da idade do animal no início do teste de eficiência alimentar, e os efeitos linear e quadrático da idade da mãe foram incluídos no modelo como covariáveis.

O modelo foi ajustado sob as seguintes premissas para os efeitos aleatórios: $\mathbf{a} \sim N(\mathbf{0}, \mathbf{H}\sigma_a^2)$ e $\mathbf{e} \sim N(\mathbf{I}\sigma_e^2)$, onde σ_a^2 e σ_e^2 são a variância genética aditiva e a variância residual, respectivamente, $\mathbf{I}$ é a matriz identidade e $\mathbf{H}$ é a matriz de relacionamento que combina informações de pedigree e genômica (4.008 animais no pedigree e 2.618 animais genotipados) (Aguilar et al., 2010). A inversa da $\mathbf{H}$ ($\mathbf{H}^{-1}$) foi calculada como: $\mathbf{H}^{-1} = \mathbf{A}^{-1} + \begin{bmatrix} \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{G}^{-1} - \mathbf{A}_{22}^{-1} \end{bmatrix}$, onde $\mathbf{A}^{-1}$ corresponde a inversa da matriz de pedigree, $\mathbf{A}_{22}^{-1}$ representa a matriz de pedigree dos animais genotipados e $\mathbf{G}^{-1}$ é a inversa da matriz genômica obtida de acordo com VanRaden (VanRaden, 2008).

2.4 Biometria vulvar e anogenital

O comprimento da rima vulvar (mm) foi obtido a partir da distância entre as comissuras dorsal e ventral, e a largura vulvar (mm) foi obtida de uma borda lateral a outra dos lábios vulvares, considerando o ponto médio, a rima vulvar (paquímetro posicionado em um ângulo de 90° em relação à rima), conforme descrito por Maculan et al. (2017). A distância anogenital (mm) foi obtida a partir da distância do centro do ânus à base do clitóris, coletada com um paquímetro de aço inoxidável, de acordo com a metodologia de Gobikrushanth et al. (2017).

2.5 Exame ultrassonográfico

As imagens e vídeos foram captados usando equipamento Mindray DP50® (Shenzhen, China) acoplado a um transdutor transretal linear na frequência de 7,5 MHz.

Os ovários foram escaneados de ponta a ponta e as imagens foram salvas para posterior mensuração do diâmetro ovariano. O diâmetro ovariano foi determinado utilizando a média das duas mensurações, horizontal e transversal, de cada imagem

ovariana. Essas medidas foram obtidas com um calibrador interno, seguindo a metodologia proposta por Ireland et al. (2008). Os vídeos capturados das varreduras ultrassonográficas dos ovários foram utilizados para identificação e quantificação de todos os folículos (folículos ≥ 3 mm) presentes nos ovários. Para garantir maior precisão na determinação da população ovariana, os vídeos foram cuidadosamente reanalisados para elaboração de um mapeamento da localização de cada folículo presente, conforme descrito anteriormente por Ireland et al. (2008). A população ovariana foi classificada em baixa CFA ($19,96 \pm 3,36$ folículos), média CFA ($31,48 \pm 4,50$ folículos) e alta CFA ($46,32 \pm 7,18$ folículos) de acordo com o quartil, como descrito anteriormente por Morotti et al. (2022). Além disso, o diâmetro do maior folículo foi medido em ambos os ovários para determinar o folículo antral com maior diâmetro médio (calculado como a distância média de duas medições realizadas em ângulos perpendiculares). Novilhas com corpo lúteo (CL) identificado nas imagens ultrassonográficas foram classificadas como púberes.

O exame ultrassonográfico do útero foi realizado para avaliar a ecogenicidade e a ecotextura do endométrio. As imagens obtidas durante a varredura ultrassonográfica foram analisadas utilizando o software Image Pro Plus® (Media Cybernetics Inc., San Diego, CA, EUA). Nesse processo, os valores de pixel em tons de cinza variaram de 0 (preto absoluto) a 255 (branco absoluto). Para determinar o valor numérico do pixel (VNP, relacionado à ecogenicidade) e o desvio padrão dos valores numéricos dos pixels (SD VNP, relacionado à ecotextura), foram selecionadas aleatoriamente 10 áreas circulares distribuídas por todo o endométrio, evitando o líquido intrauterino, quando presente, conforme descrito por Bevilaqua et al. (2022).

2.6. Inseminação artificial em tempo fixo (IATF)

Para avaliar a taxa de gestação, 172 novilhas foram submetidas a um protocolo de inseminação artificial em tempo fixo (IATF), sendo 81 classificadas como VG CAR negativo e 91 como VG CAR positivo. No Dia 0 (D0), todas as fêmeas receberam um dispositivo intravaginal monodose contendo 0,5 g de progesterona (P4) (ReproOne®, GlobalGen). Além disso, foram administrados 1,5 mL (1,0 mg/mL) de benzoato de estradiol (BE) (Sincrogen®, GlobalGen) e 2,0 mL (0,25 mg/mL) de prostaglandina ($\text{PGF}_2\alpha$) (Induscio®, GlobalGen) por via intramuscular (IM). No Dia 9 (D9), o

dispositivo de P4 foi removido, seguido da aplicação de 2,0 mL de $\text{PGF}_{2\alpha}$ por via IM, juntamente com 1,0 mL (1000 UI/mL) de gonadotrofina coriônica equina (eCG) (eCGen®, GlobalGen) e 0,3 mL (2,0 mg/mL) de cipionato de estradiol (CP) (Cipion®, GlobalGen), também por via IM. No Dia 11 (D11), foi administrado 1,0 mL (0,008 mg/mL) de hormônio liberador de gonadotropina (GnRH) (Maxrelin®, GlobalGen) por via IM. Todas as novilhas foram inseminadas no mesmo dia (D11) por meio de IATF. A inseminação foi realizada com sêmen refrigerado de touros previamente avaliados e aprovados no exame andrológico. O diagnóstico de gestação foi realizado 30 dias após a IATF por meio de ultrassonografia transretal.

2.7. Colheita de sangue e dosagem hormonal

Para as dosagens de IGF-1 e leptina foram coletados aproximadamente 5 mL de sangue em tubos a vácuo com ativador de coágulo (BD Vacutainer®) e imediatamente refrigerados. Posteriormente, as amostras foram centrifugadas a 1500 g por 20 minutos. O soro obtido foi transferido para microtubos de polipropileno em duas alíquotas iguais, devidamente identificadas, e armazenadas a -20°C para análise subsequente.

Para a dosagem de AMH a única diferença metodológica foi a coleta do sangue em tubos a vácuo contendo EDTA (BD Vacutainer®), enquanto o restante do procedimento permaneceu idêntico ao descrito anteriormente.

A dosagem de Leptina foi realizada utilizando o kit de ensaio imunoenzimático (ELISA) para Leptina bovina (FineTest® Wuhan Fine Biotech Co., Ltd, China). A faixa nominal de concentração de trabalho foi de 15,625 a 1000 pg/mL, com um limite de detecção de 9,37 pg/mL. Os coeficientes de variação (CVs) intra-ensaio e inter-ensaio variaram entre 0,62% e 5,04%, respectivamente. O CV dos padrões (15,63, 31,25, 62,50, 125, 500, 1000 pg/mL) variou de 0,3 a 3,4%.

A dosagem de IGF-1 foi realizada utilizando o kit de ensaio imunoenzimático (ELISA) para IGF-1 bovino (FineTest® Wuhan Fine Biotech Co., Ltd, China). A faixa nominal de concentração de trabalho foi de 12,5 a 800 ng/mL, com um limite de detecção de 7,5 ng/mL. Os CVs intra-ensaio e inter-ensaio variaram entre 0,52% e 4,52%, respectivamente. O CV dos padrões (12,50, 25, 50, 100, 200, 400, 800 ng/mL) variou de 0,4% a 2,1%.

A dosagem de AMH foi realizada utilizando o kit de ensaio imunoenzimático (ELISA) para hormônio anti-Mülleriano (AMH) bovino (AL114, AnshLabs, Webster, TX, EUA). A faixa nominal de concentração de trabalho foi de 10,8 a 1346,6 pg/mL, com o limite de detecção de 11 pg/mL. Os CVs intra-ensaio e inter-ensaio variaram de 0,8% a 4,81%, respectivamente. O CV dos padrões (13,20, 61,10, 197,40, 589, 1685 pg/mL) variou de 0,3% a 4,1%.

Todas as análises foram conduzidas por um laboratório privado especializado em análises científicas (LEAC, São Paulo, SP, Brasil).

2.8. Espessura de gordura subcutânea do lombo e da garupa

Para as medidas da espessura de gordura subcutânea na garupa (EGG, mm) e no lombo (EGL, mm), as imagens foram captadas usando equipamento de ultrassonografia Exago IMV Technologies equipado com uma sonda linear de 3,5 MHz e 18 cm (IMV do Brasil Tecnologias e Comercio LTDA, Campinas, Brasil). Para a obtenção da EGG o transdutor foi posicionado na intersecção dos músculos *Gluteus medius* e *Biceps femoris*, localizados entre o ílio e o ísquio, e para EGL o transdutor foi posicionado perpendicularmente à coluna vertebral entre a 12^a e 13^a costelas, do lado esquerdo do animal. As imagens foram salvas e posteriormente analisadas no ImageJ (Schneider et al., 2012).

2.9. Análise Estatística

Para avaliação estatística, foram consideradas as seguintes variáveis: comprimento da rima vulvar, largura vulvar, distância anogenital, média da contagem de folículos antrais (CFA) dos ovários esquerdo e direito, diâmetro do maior folículo, média dos ovários esquerdo e direito, ecogenicidade uterina, ecotextura uterina, IGF-1, leptina, AMH, EGL, EGG, presença de CL e taxa de gestação aos 30 dias.

A análise de variância foi feita considerando medidas repetidas, no programa “Statistical Analysis System” (SAS®, versão 9.4) com os procedimentos MIXED e GLIMMIX. Para as variáveis com medidas repetidas (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7), foi ajustado um modelo que incluiu os efeitos fixos de ano de avaliação, momento de avaliação (1, 2...,7), classe de VG CAR (1, 2) e a interação momento de avaliação e classe de VG

CAR. Devido à ausência de efeito significativo de ano, os dados foram reanalisados considerando apenas os efeitos fixos de momento de avaliação, VG CAR e a interação entre esses efeitos. No caso da variável AMH, foram consideradas exclusivamente as avaliações 1, 4 e 7. A variância residual foi modelada utilizando a estrutura de (co) variância CS (simetria composta). As médias ajustadas pelos quadrados mínimos (LSMEANS) foram comparadas entre as classes de VG CAR por meio da probabilidade de diferença (PDIF), utilizando o teste t. Diferenças estatísticas foram consideradas significativas quando $P \leq 0,05$. O efeito do VG CAR sobre a presença de corpo lúteo (CL) e a taxa de gestação foi estimado pelo procedimento GLIMMIX, utilizando uma função logit para modelar a resposta binomial (razão entre o número de sucessos e o total de eventos).

A relação entre a CFA e as concentrações séricas de AMH foi avaliada por meio de análise de regressão linear simples no software R (R Core Team, 2024). O modelo considerou AMH como variável dependente (eixo Y) e CFA como variável independente (eixo X). A qualidade do ajuste foi avaliada pelo coeficiente de determinação (R^2) e pelos valores de significância dos coeficientes do modelo. Adicionalmente, foram gerados gráficos de dispersão com a linha de regressão ajustada para visualização da relação entre as variáveis.

3. RESULTADOS

Na Tabela 1 estão apresentados os valores médios para comprimento de rima vulvar, largura de vulva e distância anogenital dos animais classificados em VG CAR negativo e positivo. Os valores médios do comprimento de rima vulvar e distância anogenital foram maiores ($P < 0,05$) para os animais VG CAR negativo quando comparados com VG CAR positivo, enquanto os valores de largura de vulva foram similares ($P = 0,10$) entre as classes divergentes de VG CAR.

Tabela 1. Médias de quadrados mínimos ($\pm$ erro padrão) do valor genético de CAR e parâmetros de biometria vulvar entre as classes de CAR de novilhas da raça Nelore

	EBV RFI		P valor
	Negativo (n=94)	Positivo (n=105)	
VG CAR (kg DM, day)	-0,126 $\pm$ 0,003	0,149 $\pm$ 0,003	< 0,0001
Genitália externa			
Rima vulvar (mm)	75,98 $\pm$ 0,39 ^a	73,67 $\pm$ 0,37 ^b	< 0,0001
Largura de vulva (mm)	46,40 $\pm$ 0,28	45,76 $\pm$ 0,27	0,10
Distância Anogenital (mm)	105,65 $\pm$ 0,51 ^a	103,48 $\pm$ 0,49 ^b	0,0027

Letras minúsculas sobrescritas distintas indicam diferença significativa. A significância foi considerada quando $P > 0,05$.

Na Figura 1 estão apresentados o comprimento da rima vulvar e a distância anogenital em animais classificados como VG CAR negativos e positivos ao longo dos meses de avaliação, considerando a interação entre a classificação VG CAR e os meses de avaliação. Foram observadas diferenças em maio e julho, e as novilhas VG CAR negativo apresentaram maior comprimento de rima vulvar e maior distância anogenital em comparação com as VG CAR positivo, especialmente no mês de maio (aos 18,6 meses de idade). Essas diferenças reforçam a importância da interação entre a classe VG CAR e os meses de avaliação.

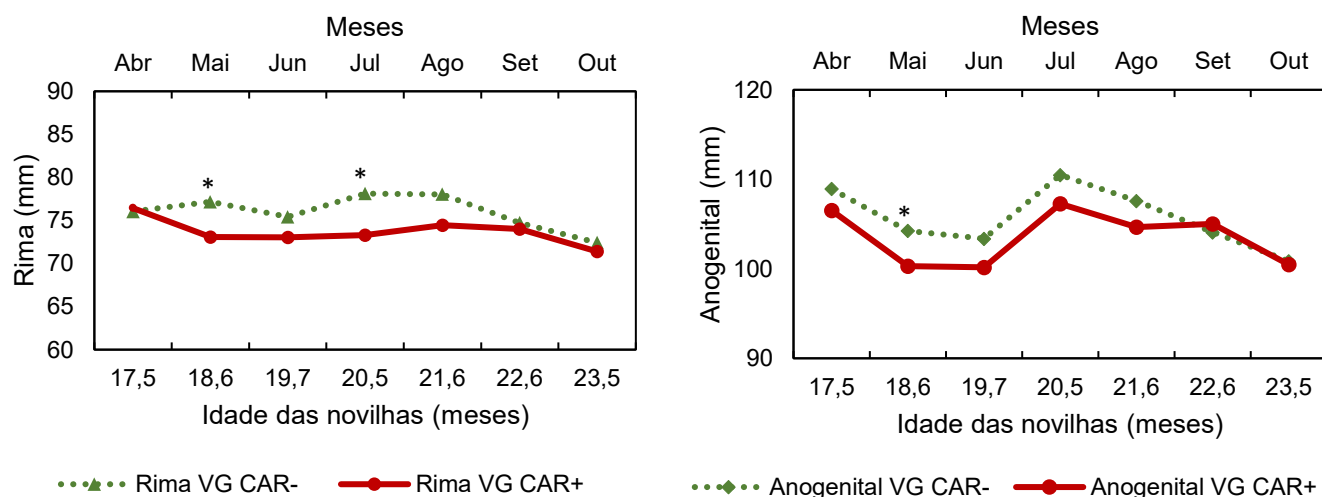


Figura 2- Comprimento de rima (mm) e anogenital (mm) de novilhas nelore classificadas em VG CAR+ e VG CAR- ao longo dos meses de avaliação. Os valores acompanhados por * indicam diferenças significativas ($P \leq 0,05$)

Na Tabela 2 estão apresentados os valores médios da contagem de folículos antrais (CFA), diâmetro do maior folículo (Diam Fol, mm), média do diâmetro ovariano

(XOV, mm), ecogenicidade uterina e ecotextura uterina. Não foram observadas diferenças entre as novilhas VG CAR negativo e positivo, tanto para CFA ($P=0,74$) quanto para Diam Fol ($P=0,66$). Entretanto, novilhas VG CAR negativo apresentaram maior XOV comparado a animais VG CAR positivo ($P=0,01$). Em relação a ecogenicidade uterina ($P=0,74$) e ecotextura uterina ($P=0,80$) os valores médios encontrados foram semelhantes em novilhas VG CAR negativo e positivo (Tabela 2).

Tabela 1. Médias de quadrados mínimos ($\pm$ erro padrão) da contagem de folículos antrais (CFA), diâmetro do maior folículo (Diam fol), média do diâmetro dos ovários direito e esquerdo (XOV), ecogenicidade e ecotextura uterina em novilhas da raça Nelore

Variável	EBV RFI		P valor
	Negativo (n=94)	Positivo (n=105)	
CFA (n)	33,04 $\pm$ 0,41	32,85 $\pm$ 0,39	0,74
Diam fol (mm)	8,7 $\pm$ 0,06	8,8 $\pm$ 0,07	0,66
XOV (mm)	19,31 $\pm$ 0,10 ^a	18,93 $\pm$ 0,10 ^b	0,01
Ecogenicidade uterina	66,33 $\pm$ 0,38	66,50 $\pm$ 0,36	0,74
Ecotextura uterina	11,06 $\pm$ 0,07	11,04 $\pm$ 0,06	0,80

Letras minúsculas sobrescritas distintas indicam diferença significativa. A significância foi considerada quando $P>0,05$.

A Tabela 3 apresenta as médias das taxas de presença de corpo lúteo (CL) e gestação aos 30 dias em novilhas Nelore, expressas como a razão do número de fêmeas com presença de CL e o número de fêmeas VG CAR negativo e VG CAR positivo, bem como a razão do número de gestações confirmadas aos 30 dias e o número de fêmeas VG CAR negativo e positivo submetidas à IATF. Fêmeas classificadas como VG CAR negativo ou positivo não apresentaram diferenças na presença de CL ($P = 0,09$) ou na taxa de gestação aos 30 dias ($P = 0,40$).

Tabela 2. Taxas de presença de corpo lúteo (CL) e gestação aos 30 dias em novilhas Nelore, de fêmeas classificadas como VG CAR negativo e positivo

Variável	EBV RFI		P valor
	Negativo	Positivo	
Presença de Corpo Lúteo, %	1,06 (1/94)	3,81 (4/105)	0,09
Taxa de gestação 30d, %	32,10 (26/81)	29,67 (27/91)	0,40

VG: valor genético predito, CAR: consumo alimentar residual. A significância foi considerada quando $P \leq 0,05$.

A Tabela 4 apresenta os valores médios por VG CAR, assim como por mês de avaliação das concentrações de IGF-1 (ng/mL), leptina (pg/mL) e AMH (pg/mL). Não foram observadas diferenças para IGF-1 ($P=0,85$), leptina ($P=0,64$) e AMH ($P=0,27$) quando comparadas as classes divergentes de VG CAR. No entanto, as concentrações sanguíneas de IGF-1 variaram ao longo dos meses de coleta ($P<0,01$), com abril e julho apresentando as maiores concentrações de IGF-1 em comparação aos meses de maio, junho, setembro e outubro. Da mesma forma, as concentrações de leptina variaram ao longo dos meses de coleta ($P<0,01$), sendo maiores em abril e julho em comparação com os meses de maio, junho, agosto, setembro e outubro. Não houve interação entre VG CAR e coleta para IGF-1 ($P= 0,82$) e leptina ($P= 0,97$).

Embora as concentrações de AMH não tenham mostrado diferença entre as classes VG CAR negativo e positivo ($P=0,27$), ao analisar as concentrações de AMH por coleta, foi observado que a avaliação intermediária (julho) e as finais (setembro e outubro) foram maiores que a avaliação inicial (abril).

Tabela 3. Médias de quadrados mínimos ($\pm$ erro padrão médio) das concentrações de IGF-1 (ng/ml), leptina (pg/ml) e AMH (pg/ml) em novilhas Nelore classificadas como VG CAR negativo e positivo. As médias das concentrações de IGF-1 e leptina foram avaliadas em sete coletas mensais de sangue

Variável	EBV RFI		EPM	Mês de coleta							EPM	P valor		
	Negativo	Positivo		Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out		VG CAR	Coleta	VG CAR vs Coleta
	(N= 18)	(N= 18)												
IGF-1 (ng/mL)	1146,60	1126,32	75,90	1459,60 ^a	873 ^d	844,89 ^d	1362,53 ^a	1199,30 ^{abc}	1182,80 ^{bc}	1033,02 ^{cd}	98,62	0,85	<,0001	0,82
Leptina (pg/mL)	363,26	376,43	19,91	545,70 ^a	350,76 ^b	518,97 ^b	312,65 ^a	255,93 ^b	305,67 ^b	299,23 ^b	37,20	0,64	<,0001	0,97
	(N= 16)	(N= 16)												
AMH (pg/mL)	1094,35	938,55	99,97	754.87 ^b	-	-	1076 ^a	-	1099,47 ^a	1135,46 ^a	76,51	0,27	<,0001	0,008

VG: valor genético predito, CAR: consumo alimentar residual, EPM: erro padrão médio. Letras minúsculas diferentes na mesma linha diferem significativamente ($P \leq 0,05$).

Foi observada uma relação moderada e positiva entre AMH e contagem de folículos antrais (CFA) (Figura 2). O AMH foi capaz de explicar 35% da variação encontrada na CFA. Além disso, é possível observar que fêmeas com maiores concentrações de AMH apresentaram maior CFA, assim como fêmeas com menores concentrações de AMH apresentaram menor CFA.

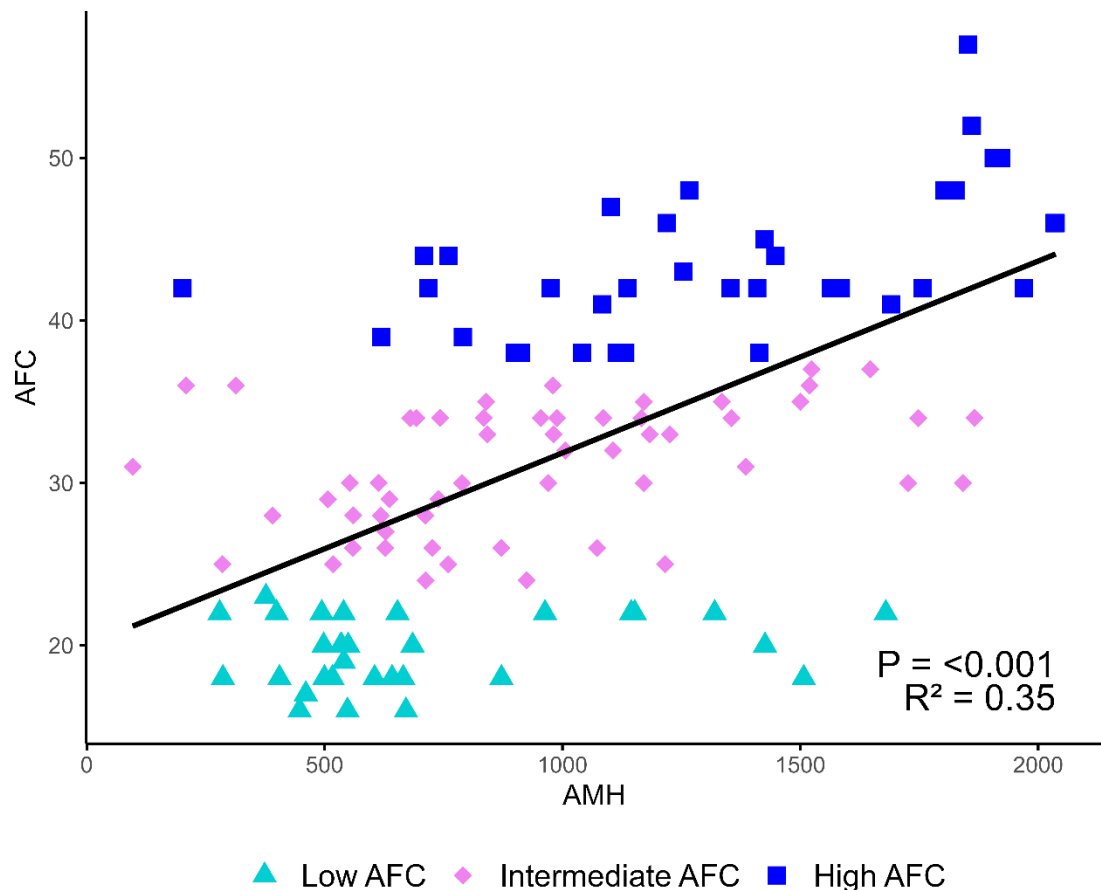


Figura 3- Regressão linear do AMH em relação à contagem de folículos antrais (CFA), mostrando as três classes de CFA.

Na Tabela 5 estão apresentados os valores médios das variáveis gordura subcutânea no lombo (EGL, mm) e gordura subcutânea na garupa (EGG, mm). Não houve diferença entre as classes de VG CAR para EGG ($P=0,31$) ou EGL ($P=0,06$).

Tabela 4. Médias de quadrados mínimos ($\pm$ erro padrão médio) das medidas da gordura subcutânea na garupa (EGG, mm) e a gordura subcutânea no lombo (EGL, mm) por classe de valor genético do CAR em novilhas da raça Nelore

Variável	EBV RFI		P valor
	Negativo (n=94)	Positivo (n=105)	
EGL (mm)	0,92 $\pm$ 0,03	0,84 $\pm$ 0,02	0,06
EGG (mm)	2,96 $\pm$ 0,04	2,90 $\pm$ 0,04	0,31

4. DISCUSSÃO

A relação entre o consumo alimentar residual (CAR) e os parâmetros reprodutivos têm sido alvo de debates na literatura (Crowley et al., 2011, Shaffer et al., 2011, Marín et al., 2024). Enquanto alguns estudos sugerem que o CAR interfere negativamente na reprodução, os resultados do presente estudo indicam uma perspectiva diferente.

A morfometria vulvar é uma característica de fácil mensuração e baixo custo, que tem sido utilizada como um possível indicador de fertilidade em fêmeas bovinas. Maculan et al. (2017) observaram que a largura da vulva está associada à eficiência reprodutiva em fêmeas da raça Tabapuã, relatando que, quanto maior a largura da vulva, menor o intervalo entre partos e maior a eficiência reprodutiva. A largura da vulva foi maior nas fêmeas com alta contagem de folículos antrais (AFC), sendo de $8,81 \pm 0,12$ cm na classe alta de AFC, em comparação com $8,42 \pm 0,11$ cm na classe intermediária e $8,38 \pm 0,13$ cm na classe baixa de AFC (Maculan et al. 2017). Esses achados reforçam a associação entre morfometria vulvar e características reprodutivas, sugerindo que a largura da vulva pode ser um indicador útil na seleção de fêmeas com maior potencial reprodutivo.

Corroborando essa associação, Vasconcelos et al. (2020) relataram que vacas da raça Brahman com largura vulvar intermediária (>102 mm e ≤ 123 mm) apresentaram maior eficiência na produção embrionária. Por outro lado, vacas da raça Simental com largura vulvar alta (>123 mm) tiveram desempenho superior na produção embrionária em comparação àquelas com medidas intermediárias. Esses resultados evidenciam que a associação entre morfometria vulvar e fertilidade pode variar conforme a raça, mas apontam para o potencial dessa medida como critério auxiliar na seleção de doadoras com maior capacidade reprodutiva.

Considerando que a morfometria da genitália externa tem sido utilizada como preditor de fertilidade em fêmeas bovinas (Maculan et al., 2017; Vasconcelos et al., 2020), o presente estudo avaliou a relação entre essas variáveis com a classe de valor genético (VG) do consumo alimentar residual (CAR). Foi observado que fêmeas classificadas como VG CAR negativo (mais eficientes) apresentaram maior comprimento de rima vulvar em comparação àquelas com VG CAR positivo. Este é o primeiro estudo a investigar a associação entre a morfometria da genitália externa e o VG CAR, contribuindo para o avanço do conhecimento sobre a interação entre eficiência alimentar e características morfológicas associadas à fertilidade. Nesse contexto, os resultados sugerem que o comprimento da rima vulvar pode ser influenciado pelo CAR, indicando uma possível associação entre eficiência alimentar e características anatômicas relacionadas ao desempenho reprodutivo.

No presente estudo, foi observado que as fêmeas classificadas como VG CAR negativo apresentaram maior distância anogenital, uma medida que, de acordo com a literatura, é inversamente correlacionada com a fertilidade em algumas espécies (Gobikrushanth et al. 2017; Vidal et al., 2024). Embora trabalhos como o de Gobikrushanth et al. (2017) e Vidal et al., (2024) indiquem associação entre maior distância anogenital e menor fertilidade, nossos resultados sugerem que essa relação pode ser mais complexa, possivelmente influenciada por fatores adicionais, como o perfil genético das fêmeas e a interação entre o CAR e outros aspectos fisiológicos e metabólicos não completamente explorados no estudo.

A dinâmica folicular ovariana é considerada um dos processos reprodutivos mais sensíveis ao estado nutricional. Enquanto o aumento no consumo de alimentos estimula a foliculogênese, a restrição alimentar e/ou a subnutrição pode inibir esse processo devido aos efeitos negativos sobre o eixo hipotálamo-hipófise, resultando na redução da secreção de gonadotrofinas, como LH e FSH (Scaramuzzi et al., 2010).

No presente estudo, não foi observado diferença de CFA e nem da concentração de AMH entre os animais classificados em VG CAR negativo e positivo, resultados que corroboram aos relatados por Reynolds et al. (2018), que também não encontraram correlação entre eficiência alimentar e parâmetros reprodutivos como CFA e AMH. A ausência de diferenças em nosso estudo pode sugerir que, pelo menos no contexto de novilhas Nelore, esses parâmetros não são diretamente influenciados pelo CAR.

Entretanto, foi observado que a média do diâmetro ovariano de fêmeas VG CAR negativo foi maior quando comparado a fêmeas VG CAR positivo. O diâmetro ovariano pode ser utilizado como um preditor de fertilidade em fêmeas bovinas, devido a sua associação com a população folicular (Murasawa et al., 2005, Cushman et al., 2009, Crane e Muirhead et al., 2020, Silva et al., 2022). A falta de associação entre VG CAR e população folicular, aliada à presença de uma associação entre VG CAR e diâmetro ovariano, evidencia a complexidade das interações entre fatores genéticos, metabólicos e reprodutivos em fêmeas bovinas com divergentes CAR. Esses resultados indicam a necessidade de estudos adicionais para esclarecer os mecanismos pelos quais a eficiência alimentar influencia o desenvolvimento e a funcionalidade ovariana em fêmeas bovinas.

O AMH é uma glicoproteína pertencente à superfamília dos fatores de crescimento transformadores (TGF) - β (Sakaguchi et al., 2019). Nas fêmeas, o AMH é produzido pelos ovários, especificamente pelas células da granulosa dos folículos em crescimento após o nascimento (Monniaux et al., 2014), desempenhando um papel importante no controle da velocidade de crescimento folicular ao inibir a enzima aromatase (Poole et al., 2016). A exemplo de outros estudos (Ireland et al., 2008; Monniaux et al., 2014; Pfeiffer et al., 2014; Sakaguchi et al., 2019), a análise de regressão indicou uma associação positiva entre os níveis de AMH e a CFA. O modelo apresentou um coeficiente de determinação $R^2 = 0,35$, indicando que 35% da variação de AMH é explicada pelo número de folículos antrais, com uma relação significativa ($P < 0,0001$). Esses resultados sugerem que animais com maior CFA tendem a apresentar maiores níveis de AMH, reforçando a relação positiva entre a população folicular e os níveis de AMH em fêmeas jovens.

Em geral, as concentrações de AMH foram maiores na avaliação intermediária (julho) e nas finais (setembro e outubro). Em um estudo conduzido por Gobikrushanth et al. (2017), foi observado que as concentrações de AMH podem variar conforme o estágio do crescimento folicular, sendo mais elevadas quando há predominância de folículos pequenos e médios ativos, como próximo da ovulação. Devido à imaturidade sexual, fêmeas pré-púberes apresentam ondas foliculares de curta duração além de maior quantidade de folículos em atresia (Adams et al., 1994, Silva et al., 2022). Segundo Monniaux et al. (2012), em novilhas da raça Maine-Anjou, as concentrações de AMH aumentam rapidamente entre 1 e 3 meses de idade, permanecem elevadas

aos 6 meses e diminuem gradualmente até os 12 meses, período correspondente à idade da primeira ovulação. Da mesma forma, Batista et al. (2016) observaram que bezerras Holandesas e Nelore apresentam maiores concentrações de AMH em comparação com novilhas cíclicas, independentemente do grupo genético. No presente trabalho, as concentrações de AMH apresentaram níveis mais baixos aos $17,7 \pm 0,86$ meses, porém, semelhante a outros estudos, estabilizaram-se próximo à puberdade.

No presente estudo, os resultados obtidos ao analisar a taxa de gestação aos 30 dias e a presença de CL, em novilhas Nelore de duas classes de VG CAR, sugerem que o VG CAR não interfere na capacidade reprodutiva. Isso é evidenciado pela ausência de diferenças nas taxas de gestação aos 30 dias ($P= 0,40$) e presença de CL ($P= 0,09$) entre os grupos divergentes para VG CAR, mesmo considerando que uma pequena parcela de animais, independentemente da classe, apresentou CL. Esses achados corroboram com os resultados obtidos por Nascimento et al. (2003) em novilhas mestiças F1 Holandês x Gir, que também não observaram diferenças nas taxas de concepção e gestação entre animais de alta e baixa eficiência alimentar. Estudos similares, como os de Arthur et al. (2005), Shaffer et al. (2011), e Blair et al. (2013) reafirmam que a seleção para eficiência alimentar com base no CAR não compromete indicadores reprodutivos, como a taxa de detecção de estro, concepção e gestação. Também, Ferreira Júnior et al. (2018) ao estudar novilhas da raça Nelore relataram que a idade ao primeiro parto e as taxas de concepção não foram afetadas pela classificação do CAR, embora os autores tenham relatado correlação genética média e desfavorável entre days to calving e CAR.

O IGF-1 e a leptina são hormônios metabólicos que desempenham papéis fundamentais tanto na nutrição quanto na reprodução. O IGF-I é um hormônio polipeptídico sintetizado no fígado sob a estimulação do hormônio do crescimento (GH) (Williams et al., 2002; Sánchez et al., 2012). O GH contribui para o desenvolvimento folicular, especialmente nas fases iniciais do folículo antral, além de estimular a maturação oocitária. Por sua vez, o IGF-I atua na esteroidogênese, na proliferação das células da granulosa e no crescimento do oócito, o que reforça sua importância nos processos reprodutivos (Hutchinson et al., 1988; Langhout et al., 1991; Shimizu et al., 2008; Magalhães et al., 2012).

Assim como o IGF-1, a leptina também exerce influência sobre o eixo hipotalâmico-hipofisário (Fortes et al., 2012). A leptina é um hormônio principalmente produzido pelo tecido adiposo, desempenhando um papel fundamental na regulação do metabolismo e do apetite, ao comunicar ao cérebro as informações sobre os níveis de gordura armazenada no corpo (Garcia et al., 2002). Quando há uma redução no tecido adiposo, ocorre uma diminuição nas concentrações de leptina, o que leva ao aumento do neuropeptídeo Y (NPY). O NPY, por sua vez, realiza feedback negativo com o GnRH, resultando na redução da produção de LH e FSH (Donato et al., 2011). Por outro lado, quando há estabilização dos adipócitos, ocorre aumento na produção de leptina, que inibe a produção de NPY, encerrando o feedback negativo com o GnRH (Donato et al., 2011). Além disso, o aumento das concentrações de leptina resulta em uma elevação da produção de kisspeptina, que promove um feedback positivo com o GnRH, estimulando ainda mais a sua produção (Zieba et al., 2004).

Os animais do presente estudo foram mantidos em regime de pastagem durante todo o período de coleta de dados, com qualidade nutricional variando conforme a estação (seca ou águas), o que pode ter impactado o estado nutricional e ganho de peso (Israel et al., 2012). Essas variações podem ter influenciado as concentrações séricas de leptina, hormônio produzido pelo tecido adiposo, cuja concentração no sangue está relacionada ao acúmulo de reservas energéticas (Garcia et al., 2002). Em sistemas a pasto, a limitação nutricional em certas épocas do ano pode restringir o acúmulo de tecido adiposo e, conseqüentemente, os níveis de leptina (Garcia et al., 2002).

O IGF-I, cuja síntese no fígado é estimulada pelo hormônio do crescimento (GH), também reflete o estado nutricional, sendo regulado por fatores como ingestão proteica e reservas energéticas, estabelecendo uma relação com a leptina (Garcia et al., 2002; Donato et al., 2011). Assim, as variações mensais nos níveis de IGF-I podem estar associadas às variações de leptina, embora outros fatores, como a função hepática, também desempenhem um papel importante (Zieba et al., 2004; Israel et al., 2012).

Em relação à espessura de gordura subcutânea no lombo (EGL, mm) e na garupa (EGG, mm), nosso estudo não observou diferenças entre as classes divergentes de VG CAR. Esse resultado difere daqueles encontrados na literatura (Arthur et al., 2005; Lines et al., 2014), que indicam que animais menos eficientes, ou

seja, CAR positivo, apresentam maior quantidade de gordura subcutânea. No entanto, nossos resultados estão em consonância com os de Sainz et al. (2006), que relataram que ambas as classes apresentaram a mesma espessura de gordura subcutânea (CAR negativo 1,29 cm vs. CAR positivo 1,26 cm), indicando que a eficiência alimentar medida pelo CAR não afetou a deposição de gordura subcutânea nesses bovinos.

Esse resultado pode ser explicado pelo fato de que os animais ainda não haviam estabilizado completamente seu crescimento. Como o processo de deposição de gordura subcutânea é mais evidente em fases mais avançadas de crescimento e acabamento da carcaça, é possível que a maior parte dessa deposição ocorra em estágios mais tardios do desenvolvimento. Assim, a eficiência alimentar medida pelo CAR pode não ter interferido de forma perceptível na deposição de gordura subcutânea até o momento da avaliação. Isso sugere que animais mais eficientes (CAR negativo) têm a capacidade de alcançar o mesmo nível de produção e acabamento de carcaça que animais menos eficientes (CAR positivo), mesmo consumindo menos alimento. Portanto, a eficiência alimentar, medida pelo CAR, parece não comprometer a deposição de gordura subcutânea necessária para o acabamento da carcaça, o que pode ocorrer de forma mais significativa à medida que os animais continuam seu crescimento.

5. CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos, conclui-se que novilhas Nelore classificadas como CAR negativo, ou seja, geneticamente mais eficientes quanto ao consumo alimentar, não apresentaram prejuízos nos principais preditores de fertilidade avaliados. As análises englobando características reprodutivas (como biometria ovariana, contagem de folículos antrais, presença de corpo lúteo, taxa de gestação e morfometria vulvar), metabólicas (concentrações séricas de IGF-1, leptina e AMH) e de composição corporal (espessura de gordura subcutânea) demonstraram que a seleção para maior eficiência alimentar não compromete a fisiologia reprodutiva. Assim, a utilização do valor genético predito para CAR como critério de seleção em programas de melhoramento pode contribuir para a redução dos custos com alimentação, mantendo o potencial reprodutivo das fêmeas Nelore.

REFERÊNCIAS

Adams GP, Evans AC, Rawlings NC (1994) Follicular waves and circulating gonadotrophins in 8-month-old prepubertal heifers. **Journal of Reproduction and Fertility** 100:27–33. <https://doi.org/10.1530/jrf.0.1000027>

Aguilar I, Misztal I, Johnson DL, Legarra A, Tsuruta S, Lawlor TJ (2010) Hot topic: A unified approach to utilize phenotypic, full pedigree, and genomic information for genetic evaluation of Holstein final score. **Journal of Dairy Science** 93:743–752. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2730>

Arthur PF, Herd RM, Wilkins JF, Archer JA (2005) Maternal productivity of Angus cows divergently selected for post-weaning residual feed intake. **Australian Journal of Experimental Agriculture** 45:985–993. <https://doi.org/10.1071/EA05052>

Batista EOS, Guerreiro BM, Freitas BG, Silva JCB, Vieira LM, Ferreira RM, Rezende RG, Basso AC, Lopes RNVR, Rennó FP, Souza AH, Baruselli PS (2016) Plasma anti-Müllerian hormone as a predictive endocrine marker to select *Bos taurus* (Holstein) and *Bos indicus* (Nelore) calves for in vitro embryo production. **Domestic Animal Endocrinology** 54:1–9. <https://doi.org/10.1016/j.domaniend.2015.08.001>

Bevilaqua JR, Rodrigues NN, Rossi GF, Pupin MAF, Silva MO, Borges MS, Fernandes LG, Mercadante MEZ, Monteiro FM, Oliveira MEF (2022) Effect of follicular wave stage on potential fertility predictors and their repeatability coefficient in prepubertal *Bos indicus* (Nelore) and *Bos taurus* (Caracu) heifers. **Animal** 16:100678. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2022.100678>

Blair EE, Minick Bormann J, Moser DW, Marston TT (2013) Relationship between residual feed intake and female reproductive measurements in heifers sired by high- or low-residual feed intake Angus bulls. **Professional Animal Scientist** 29:46–50. [https://doi.org/10.15232/S1080-7446\(15\)30194-7](https://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)30194-7)

Camargo LSA, Viana JHM, Sá WF, Ferreira AM, Vale Filho VR (2005) Developmental competence of oocytes from prepubertal *Bos indicus* crossbred cattle. **Animal Reproduction Science** 85:53–59.

Catussi BLC, Crozara AS, Silva LG, Elliff FM, Abreu LÂ, Silva JC, Silva RCP, Marques MO, Baruselli PS (2020) Evidence of negative relationship between reproductive performance and feed efficiency in Nelore (*Bos indicus*) heifers submitted to TAI. In: *34th Annual Meeting of the Brazilian Embryo Technology Society (SBTE). Resumos... Animal Reproduction* 17.

Crane MB, Muirhead TL (2020) Evaluation of ovarian volume by transrectal ultrasonography in cattle: effect of the day of the estrous cycle and validation of a method of subtracting corpora lutea and follicle volume. **Animal Reproduction Science** 214:106302. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2020.106302>

Crowley JJ, Evans RD, McHugh N, Pabiou T, Kenny DA, McGee M, Crews DH, Berry DP (2011) Genetic associations between feed efficiency measured in a performance test station and performance of growing cattle in commercial beef herds. **Journal of Animal Science** 89:3382–3393. <https://doi.org/10.2527/jas.2011-3836>

Cushman RA, Allan MF, Kuehn LA, Snelling WM, Cupp AS, Freetly HC (2009) Evaluation of antral follicle count and ovarian morphology in crossbred beef cows: influence of stage of the estrous cycle, age, and birth weight. **Journal of Animal Science** 87:1971–1980. <https://doi.org/10.2527/jas.2008-1728>

Donato Jr J, Cravo RM, Frazão R, Elias CF (2010) Hypothalamic sites of leptin action linking metabolism and reproduction. **Neuroendocrinology** 93:9–18. <https://doi.org/10.1159/000322472>

Ferreira Júnior RJ, Bonilha SFM, Monteiro FM, Cyrillo JNSG, Branco RH, Vasconcelos JAI, Mercadante MEZ (2018) Evidence of negative relationship between female fertility and feed efficiency in Nellore cattle. **Journal of Animal Science** 96:4035–4044. <https://doi.org/10.1093/jas/sky276>

Fortes MRS, Li Y, Collis E, Zhang Y, Hawken RJ (2012) The IGF1 pathway genes and their association with age of puberty in cattle. **Animal Genetics** 44:91–95. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2052.2012.02367.x>

Garcia MR, Amstalden M, Williams SW, Stanko RL, Morrison CD, Keisler DH, Nizielski SE, Williams GL (2002) Serum leptin and its adipose gene expression during pubertal development, the estrous cycle, and different seasons in cattle. **Journal of Animal Science** 80:2158–2167. <https://doi.org/10.2527/2002.8082158x>

Gobikrushanth M, Bruinje TC, Colazo MG, Butler ST, Ambrose DJ (2017) Characterization of anogenital distance and its relationship to fertility in lactating Holstein cows. **Journal of Dairy Science** 100:9815–9823. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13033>

Hutchinson LA, Findlay JK, Herington AC (1988) Growth hormone and insulin-like growth factor-I accelerate PMSG-induced differentiation of granulosa cells. **Molecular and Cellular Endocrinology** 55:61–69. [https://doi.org/10.1016/0303-7207\(88\)90091-3](https://doi.org/10.1016/0303-7207(88)90091-3)

Ireland JLH, Scheetz D, Jimenez-Krassel F, Themmen APN, Ward F, Lonergan P, Smith GW, Perez GI, Evans ACO, Ireland JJ (2008) Antral follicle count reliably predicts number of morphologically healthy oocytes and follicles in ovaries of young adult cattle. **Biology of Reproduction** 79:1219–1225. <https://doi.org/10.1095/biolreprod.108.071670>

Israel DD, Sheffer-Babila S, De Luca C, Jo YH, Liu SM, Xia Q, Spergel DJ, Dun SL, Dun NJ, Chua SC Jr (2012) Effects of leptin and melanocortin signaling interactions on pubertal development and reproduction. **Endocrinology** 153:2408–2419. <https://doi.org/10.1210/en.2011-1822>

Koch RM, Swiger LA, Chambers D, Gregory KE (1963) Efficiency of feed use in beef cattle. **Journal of Animal Science** 22:486–494. <https://doi.org/10.2527/jas1963.222486x>

Langhout DJ, Spice LJ, Geisert RD (1991) Development of a culture system for bovine granulosa cells: effects of growth hormone, estradiol, and gonadotropins on cell proliferation, steroidogenesis, and protein synthesis. **Journal of Animal Science** 69:3321–3334. <https://doi.org/10.2527/1991.6983321x>

Lines DS, Pitchford WS, Bottema CDK, Herd RM, Oddy VH (2014) Selection for residual feed intake affects appetite and body composition rather than energetic efficiency. **Animal Production Science** 58:175–184. <https://doi.org/10.1071/AN13321>

Maculan R, Pinto TLC, Moreira GM, Vasconcelos GL, Sanches JA, Rosa RG, Bonfim RR, Gonçalves TM, De Souza JC (2017) Anti-Müllerian hormone, antral follicle count, external morphometrics and fertility in Tabapuã cows. **Animal Reproduction Science** 189:84–92. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2017.12.011>

Magalhães DM, Sales ET, Padilha RT, Silva TFP, Tonioli R, Figueiredo JR (2012) Hormônio do crescimento e fator de crescimento semelhante à insulina-I: importantes reguladores das foliculogêneses in vivo e in vitro. **Revista Brasileira de Reprodução Animal** 36:32–38.

Marín MF, Naya H, Espasandin AC, Navajas E, Devincenzi T, Carriquiry M (2024) Energy efficiency of grazing Hereford heifers classified by paternal residual feed intake. **Translational Animal Science**. <https://doi.org/10.1093/tas/txae005>

Mercadante MEZ, Packer IU, Razook AG, Cyrillo JNSG, Figueiredo LA (2003) Direct and correlated responses to selection for yearling weight on reproductive performance of Nelore cows. **Journal of Animal Science** 81:376–384. <https://doi.org/10.2527/2003.812376x>

Misztal I, Tsuruta S, Lourenco D, Aguilar I, Legarra A, Vitezica Z (2018) Manual for BLUPF90 family of programs. Athens: University of Georgia.

Monniaux D, Clément F, Dalbiès-Tran R, Estienne A, Fabre S, Mansanet C, Monget P (2014) The ovarian reserve of primordial follicles and the dynamic reserve of antral growing follicles: what is the link? **Biology of Reproduction** 90:85. <https://doi.org/10.1095/biolreprod.113.117077>

Morotti F, Miguez-Gonzalez S, Cerezetti MB, Seneda MM (2022) Evaluation of three classification methods of antral follicle count and fertility to the timed artificial insemination in cattle. **Animal Reproduction** 19. <https://doi.org/10.1590/1984-3143-AR2021-0121>

Monniaux D, Drouilhet L, Rico C, Estienne A, Jarrier P, Touzé JL, Sapa J, Phocas F, Dupont J, Dalbiès-Tran R, Fabre S (2012) Regulation of anti-Müllerian hormone production in domestic animals. **Reproduction, Fertility and Development** 25:1–16. <https://doi.org/10.1071/RD12270>

Murasawa M, Takahashi T, Nishimoto H, Yamamoto S, Hamano S, Tetsuka M (2005) Relationship between ovarian weight and follicular population in heifers. **Journal of Reproduction and Development** 51:689–693. <https://doi.org/10.1262/jrd.17014>

Nascimento AA, Pinheiro NL, Sales A, Viana JHM (2003) Correlação morfométrica do ovário de fêmeas bovinas em diferentes estádios reprodutivos. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science** 40:126–132.

Paz ACAR, Ladeira MM, Teixeira PD, Canesin RC, Batalha CDA, Mercadante MEZ, Bonilha SFM (2022) Performance and muscle lipogenesis of calves born to Nelore cows with different residual feed intake classification. **PLoS ONE** 17:e0272236. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0272236>

Pfeiffer KE, Jury LJ, Larson JE (2014) Determination of anti-Müllerian hormone at estrus during a synchronized and a natural bovine estrous cycle. **Domestic Animal Endocrinology** 46:58–64. <https://doi.org/10.1016/j.domaniend.2013.05.004>

Poole DH, Ocón-Grove OM, Johnson AL (2016) Anti-Müllerian hormone receptor type II expression and AMH activity in bovine granulosa cells. **Theriogenology**:1–8. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.04.078>

Reynolds MK, Chibisa GE, Ahmadzadeh A, Hall JB (2018) Reproductive development and fertility traits among heifers in different residual feed intake groups. **Translational Animal Science** 2:175–179. <https://doi.org/10.1093/tas/txy039>

Scaramuzzi RJ, Brown HM, Dupont J (2010) Nutritional and metabolic mechanisms in the ovary and their role in mediating the effects of diet on folliculogenesis: a perspective. **Reproduction in Domestic Animals** 45:32–41. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0531.2010.01662.x>

Schneider CA, Rasband WS, Eliceiri KW (2012) NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. **Nature Methods** 9:671–675. <https://doi.org/10.1038/nmeth.2089>

Shaffer KS, Turk P, Wagner WR, Felton EED (2011) Residual feed intake, body composition, and fertility in yearling beef heifers. **Journal of Animal Science** 89:1028–1034. <https://doi.org/10.2527/jas.2010-3322>

Shimizu T, Murayama C, Sudo N, Kawashima C, Tetsuka M, Miyamoto A (2008) Involvement of insulin and growth hormone during follicular development in the bovine ovary. **Animal Reproduction Science** 106:143–152. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2007.04.005>

Silva MO, Borges MSA, Fernandes LG, Rodrigues NN, Watanabe YF, Joaquim DC, Oliveira CS, Feuchard VLS, Cyrillo JNSG, Mercadante MEZ, Monteiro FM (2022) Effect of Nellore donor age on in vitro embryo production and pregnancy rate. **Reproduction in Domestic Animals** 57:1–9. <https://doi.org/10.1111/rda.14164>

VanRaden PM (2008) Efficient methods to compute genomic predictions. **Journal of Dairy Science** 91:4414–4423. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0980>

Zieba DA, Amstalden M, Morton S, Maciel MN, Keisler DH, Williams GL (2004) Regulatory roles of leptin at the hypothalamic-hypophyseal axis before and after sexual maturation in cattle. **Biology of Reproduction** 71:804–812. <https://doi.org/10.1095/biolreprod.104.028548>

Zorzi K, Bonilha SFM, Queiroz AC, Branco RH, Sobrinho TL, Duarte MS (2013) Meat quality of young Nellore bulls with low and high residual feed intake. **Meat Science** 93:593–599. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.11.030>