

Efeito do consumo alimentar residual sobre a fertilidade de touros: uma revisão sistemática e meta-análise

Effect of residual feed intake on bull fertility: a systematic review and meta-analysis

**Milena Alves da Silva^{1*}, Wilson Júnior Alcebíades¹, Arthur Ribeiro Torres¹,
Cláudia Braga Pereira Bento¹, Jeanne Broch Siqueira²**

^{1*}Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM, Avenida Universitária, nº 1000, Unai, MG, Brasil, ²Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM, Unai, MG, Brasil

Resumo

A pecuária brasileira se destaca no mundo em exportação, e para tal, a busca por minimizar custos e aumentar a lucratividade, se baseia no aumento da eficiência produtiva, com produção satisfatória e de baixo custo, e reprodutiva, com a transmissão de boas características aos descendentes. Dentre os meios atuais utilizados nessa busca destaca-se o CAR (consumo alimentar residual), medida avaliativa de eficiência alimentar, em que animais CAR negativos são considerados eficientes, visto que consomem menos que o estimado e alcançam os mesmos resultados finais que, animais CAR positivos (ineficientes, por consumirem igual ou mais que o esperado). Tal condição de alta produtividade e redução de custo é herdável no ponto de vista genético, diante disto, o objetivo desta revisão sistemática foi identificar na literatura atual, artigos que demonstrassem o efeito do CAR sobre as características reprodutivas de touros e posteriormente através de uma meta-análise verificar se há concordância entre o CAR e a fertilidade com base nos estudos avaliados. Houve uma heterogeneidade entre as variáveis CAR e motilidade espermática, avaliada por meta-regressão e análise de subgrupos. Pôde-se concluir que a circunferência escrotal, a motilidade espermática progressiva, viabilidade espermática, anormalidades de peça intermediária e a intensidade de pixels, apresentaram valores superiores em animais considerados ineficientes para CAR, já as **anormalidades de cabeça** foram melhores avaliadas em animais eficientes para CAR. Nos estudos avaliados a grande maioria dos aspectos observados como motilidade espermática, espermatozoides normais, volume do testículo, concentração do sêmen, anormalidades de cabeça, termografia da parte proximal do escroto e termografia da parte distal do escroto não apresentou diferença entre os grupos analisados.

Palavras-chave: macho bovino, circunferência escrotal, eficiência alimentar, qualidade de sêmen

Abstract

Brazilian livestock farming is a global leader in exports. To maintain this position, producers are focused on minimizing costs and increasing profitability. This is achieved through two main strategies: increasing productive efficiency and reproductive efficiency. The former entails producing satisfactory and low-cost livestock, while the latter involves transmitting desirable traits to offspring. Among the current means used in this search is CAR (residual feed intake), an evaluation measure of feed efficiency. Animals with a CAR value below zero are considered efficient, as they consume less than estimated and achieve the same results as CAR-positive animals (inefficient, as they consume the same or more than expected). This condition of high productivity and cost reduction is inherited from a genetic standpoint. In light of the aforementioned considerations, the objective of this systematic review was to identify articles in the current literature that demonstrated the effect of CAR on the reproductive characteristics of bulls. Thereafter, a meta-analysis was conducted to ascertain whether there is agreement between CAR and fertility based on the studies evaluated. A significant degree of heterogeneity was observed between the CAR and sperm motility variables, as assessed by meta-regression and subgroup analysis. The results indicated that scrotal circumference, progressive sperm motility, sperm viability, mid-piece abnormalities, and pixel intensity exhibited higher values in animals classified as inefficient for CAR, whereas head abnormalities were more accurately evaluated in animals classified as efficient for CAR. In the studies evaluated, most of the aspects observed, including sperm motility, normal spermatozoa, testicular volume, semen concentration, head

¹Correspondência: milena.silva@ufvjm.edu.br

Recebido: 08 de agosto de 2022

Aceito: 07 de novembro de 2025



abnormalities, thermography of the proximal part of the scrotum, and thermography of the distal part of the scrotum, demonstrated no significant differences between the groups analyzed.

Keywords: *bovine male, scrotal circumference, feed efficiency, semen quality*

Introdução

O Brasil possui o segundo maior rebanho bovino do mundo, com aproximadamente 214,7 milhões de cabeças, sendo o primeiro país em exportação de carne bovina e o segundo maior em produção de carne (IBGE, 2019). A bovinocultura desempenha um importante papel na economia brasileira, e este setor está em constante evolução no País, tanto em termos de gestão quanto de manejo, com um contínuo aprimoramento da capacitação dos profissionais envolvidos. Isso se faz necessário para atender às exigências de bem-estar animal e produção segura de alimentos (Gomes et al., 2017; Senar, 2018, Brancalion e Dorigan, 2021). Dados da ABIEC (2022) afirmam que a bovinocultura de corte representou 8,5% do PIB brasileiro, sendo a carne de consumo interno e exportação os principais produtos desta cadeia.

Diante deste cenário, seria fundamental aumentar a produtividade e lucratividade deste setor. Uma das maneiras para isto acontecer, seria por meio da seleção de bovinos mais eficientes para consumo alimentar, resultando em menores impactos ao meio ambiente (Freitas, 2020) e menores taxas de metano entérico (Basarab et al., 2013). Animais que aproveitam de maneira mais eficiente o alimento, contribuem para a sustentabilidade e diminuição dos custos da produção (Arthur e Herd, 2008).

O peso corporal do animal ao abate e a sua eficiência reprodutiva são os componentes determinantes para seu valor comercial. Cerca de 70 a 75% do custo envolvido na produção animal, se origina dos gastos com alimentação (Liu et al., 2000), o que tem influência significativa sobre a lucratividade da atividade. Por isso, a conversão alimentar (CA), razão entre a ingestão de matéria seca diária (IMS) e o ganho de peso diário (GPD), ou a eficiência alimentar bruta (EAB) definida pela razão entre GPD e IMS, são as medidas de eficiência mais utilizadas na pecuária de corte (Moraes et al., 2016; Freitas, 2020).

Tais medidas de eficiência levam em consideração os padrões de maturidade dos animais e relacionam-se diretamente com o peso à idade adulta e a taxa de crescimento. Isto pode induzir a qualificação de animais maiores, o que nem sempre se cursa com real eficiência alimentar (Archer et al., 1999). Diante disso, Koch et al. (1963) desenvolveram o conceito do CAR (Consumo Alimentar Residual), que desconsidera a influência do peso adulto do animal. O CAR é calculado como diferença da IMS observada e a IMS predita estimada em função do peso vivo médio metabólico e do ganho médio diário de peso (Basarab et al., 2003). Avaliando a medida CAR, verifica-se que os animais mais eficientes são aqueles que apresentam o consumo observado menor do que o consumo esperado, ou seja, os animais com CAR negativo. Deste modo, os animais com CAR positivo, aqueles que apresentam consumo observado maior do que o consumo esperado, são classificados como menos eficientes (Freitas, 2020).

Selecionar animais mais eficientes associado à sua eficiência reprodutiva poderia trazer mais ganho ao produtor. Entretanto, não há um consenso na literatura sobre o impacto da seleção de touros com CAR negativos sobre a eficiência reprodutiva (Arthur et al. 2001, Schenkel et al., 2004, Hafla et al., 2012, Awda et al. 2013; Wang et al. 2012, Moraes et al., 2016). Para tentar resolver a falta de consenso entre estudos sobre um mesmo tema, muitos pesquisadores têm usado uma ferramenta estatística bastante valiosa, após uma revisão de literatura sistemática, que é a meta-análise. Desta forma, o objetivo deste estudo foi encontrar uma tendência entre os trabalhos que avaliaram o impacto da seleção de touros com CAR negativos sobre a eficiência reprodutiva, através de uma revisão de literatura sistemática e meta-análise.

Materiais e métodos

Estratégias de Busca

Neste estudo, uma revisão sistemática de artigos científicos foi realizada com o objetivo avaliar a possível associação entre o CAR, tanto positivo quanto negativo, e características reprodutivas em touros com aptidão para corte. A declaração dos Principais Itens para Relatar Revisões Sistemáticas e Meta-análises (PRISMA) (Moher et al., 2009; Galvão, Pansani, Harrad, 2015) foi utilizado como base.

Para a definição dos critérios de inclusão e seleção das palavras-chave foram considerados os seguintes termos: a) termos relacionados a espécie ou grupo de animais; b) termos relacionados à eficiência alimentar e ao CAR; c) termos relacionados às características reprodutivas dos machos (Tabela 1).



Tabela 1. Critérios de inclusão e seleção das palavras-chave para realização da busca em banco de dados para realização da revisão sistemática e meta-análise.

Espécie ou grupo animal	Termos relacionados a eficiência alimentar e ao CAR	Termos ligados a características reprodutivas
<i>Bovine</i>	<i>Residual feed intake</i>	<i>Semen quality</i>
<i>Bull</i>	<i>feed efficiency</i>	<i>Testis histology</i>
<i>Calf</i>		<i>Testis ultrasonography</i>
		<i>Scrotal circumference</i>
		<i>reproductive precocity</i>
		<i>Sperm motility</i>
		<i>Sperm morphology</i>

Os termos e palavras chaves foram adicionados ao sistema de busca da base de dados *Scopus* no idioma inglês. Foi estabelecida a seguinte combinação: *bovine* OR *bull* OR *calf* AND "*residual feed intake*" OR "*feed efficiency*" AND "*semen quality*" OR "*testis histology*" OR "*testis ultrasonography*" OR "*scrotal circumference*" OR "*sperm motility*" OR "*sperm morphology*".

Critérios de Elegibilidade e Seleção

Ao utilizar a combinação de palavras-chave, a busca sistemática encontrou um total de 312 resultados. Destes, durante o processo de triagem, 291 estudos foram excluídos por não possuírem palavras-chave relacionadas a espécie, eficiência alimentar, CAR e reprodução; 01 artigo foi excluído por não estar em português e/ou inglês e 01 por ser uma publicação do tipo revisão de literatura e meta-análise, resultando em 19 artigos.

Posteriormente, foi realizada a leitura integral dos 19 artigos e destes foram excluídos: sete artigos por não estabelecerem a correlação esperada entre o CAR e os parâmetros reprodutivos; dois artigos que exploravam características reprodutivas de fêmeas; um (01) artigo que não possuía dados tabulados e; três artigos por não possuírem dados replicáveis em estudos, impossibilitando análise estatística.

Extração de Dados e Avaliação Quantitativa dos Resultados

Os dados contidos nos estudos selecionados foram extraídos e tabulados em uma planilha de Excel. Para a realização da meta-análise, foram identificadas as variáveis independentes e dependentes. Os dados dos animais CAR positivos (ineficientes) foram considerados como grupo Controle e os dados dos animais CAR negativos (eficientes) foram considerados como grupo Tratado.

Os estudos foram categorizados de acordo com autor e ano de publicação. A raça, idade do animal (meses), peso vivo (kg) modelo de análise CAR (levando ou não em consideração características de carcaça). Tipo de teste CAR, modelo animal, raça, matéria seca (%), proteína bruta na dieta (%), nutrientes digestíveis na dieta (%), população, sistema e idade inicial para a mensuração da Circunferência escrotal, foram as variáveis independentes, enquanto que CAR, circunferência escrotal (CE), motilidade espermática (ME), motilidade espermática progressiva (MPE), espermatozoides normais, viabilidade espermática, volume testicular, concentração de sêmen, anormalidade de cabeça, peça intermediária e cauda, góticulas (gota proximal), intensidade máxima e mínima de pixels, e termografia de área proximal e distal do testículo foram as variáveis dependentes.

Meta-análise

A meta-análise foi conduzida usando o programa estatístico R (pacote Metafor, versão 3.4.2). A avaliação dos animais de alta (-CAR, "tratados") e baixa (+CAR, "controle") eficiência alimentar sobre características de produção e reprodução foi conduzida usando modelos de efeitos fixos ou aleatórios, dependendo da heterogeneidade encontrada ao examinar a diferença média (DM) entre os resultados obtidos com animais -CAR e +CAR (medida de efeito). As médias dos tratamentos foram ponderadas usando o método de variância inversa de acordo com o método proposto por Der-Simonian & Laird (1986) para modelos com efeitos aleatórios.

A heterogeneidade do efeito de tratamento foi avaliada através do teste do Qui-quadrado (Q) e da estatística I^2 , a qual mede a porcentagem de variação devido a heterogeneidade (Higgins et al., 2002). O viés de

publicação foi avaliado usando o teste de assimetria de Egger (EGGER et al., 1997). Por sua vez, a análise de meta-regressão foi realizada para identificar os efeitos das covariáveis (moderadores) categóricas e contínuas. Antes disto, a multicolinearidade entre as covariáveis contínuas foi testada por análise de correlação para evitar modelos excessivamente grandes e maior número de resultados falso-positivos. Modelos múltiplos foram testados e comparados usando o *Akaike Information Criterion* (Aic; Akaike, 1973). Assim, um modelo misto foi usado na análise de meta-regressão considerando a DM como variável dependente.

Os coeficientes de regressão das covariáveis foram testados usando o teste de Wald (Harbord e Higgins, 2008) e a significância desses coeficientes foi confirmada por testes de permutação conduzidos com 1.000 iterações. Além disso, o R^2 ajustado foi usado para indicar a proporção de heterogeneidade explicada pelas covariáveis (Harbord e Higgins, 2008; Viechtbauer, 2010). A análise de meta-regressão foi conduzida somente quando a heterogeneidade foi detectada. Aquelas covariáveis categóricas que contribuíram para explicar heterogeneidade foram avaliadas também através de análises de subgrupo.

Resultados

Dados Qualitativos

No total, foram selecionadas 6 publicações nesta meta-análise. Os critérios de exclusão e elegibilidade utilizados para se chegar a estes artigos estão elencados na Figura 1. Foram classificados para cada artigo incluído na meta – análise, o nome do autor, o número de animais utilizados no estudo, a composição racial dos animais utilizados, o sistema de automação utilizado para a mensuração do consumo residual dos animais durante a fase de teste CAR, o tipo de avaliação, se realizada no próprio touro ou em sua matriz, e quais as variáveis extraídas de cada artigo, o que se verifica na Tabela 2.

Tabela 2. Relação dos artigos analisados, variáveis categóricas, variáveis resposta e número de estudos obtidos

AUTOR	ANIMAIS (n)	RAÇA	SISTEMA	AVALIAÇÃO CAR	VARIÁVEIS RESPOSTA
Hafl et al. (2012)	112	Taurino × Zebu	GrowSafe	Próprio touro	CAR, Peso Corporal, CE, ME, EM
Wang et al. (2012)	178	Cruzamento terminal	GrowSafe	Próprio touro	Peso Corporal, CE,
Awda et al. (2013)	260	Taurino (Britânico + Continental)	Insentec	Próprio touro	CAR, Peso Corporal, CE, ME, MPE, VE,
Fontoura et al. (2016)	96	Taurino (Britânico + Continental)	Insentec	Próprio touro	CAR, Peso Corporal, CE, ME, EN, MPE, VT, CS, AC, APM, IPMAX, TPPE, TPPDE
Bourgon et al. (2018)	158	Taurino (Britânico + Continental)	GrowSafe e Insentec	Próprio touro	CAR, Peso Corporal, CE, ME, EN, MPE, CS, AC, APM, IPMAX, TPPE, TPPDE
Johnson et al. (2019)	100	Taurino x (Britânico)	GrowSafe	Mãe do touro	MPE, EN, VE, VT

CAR: consumo alimentar residual; CE: circunferência escrotal; ME: motilidade do espermatozoide; MPE: motilidade progressiva do espermatozoide; EN: espermatozoides normais; VE: viabilidade do espermatozoide; VT: volume do testículo; CS: concentração do sêmen; AC: anormalidades da cabeça; APM: anormalidades da parte mediana; IPMAX: intensidade de pixel máxima; TPPE: termografia da parte proximal do escroto; TPDE: termografia da parte distal do escroto.

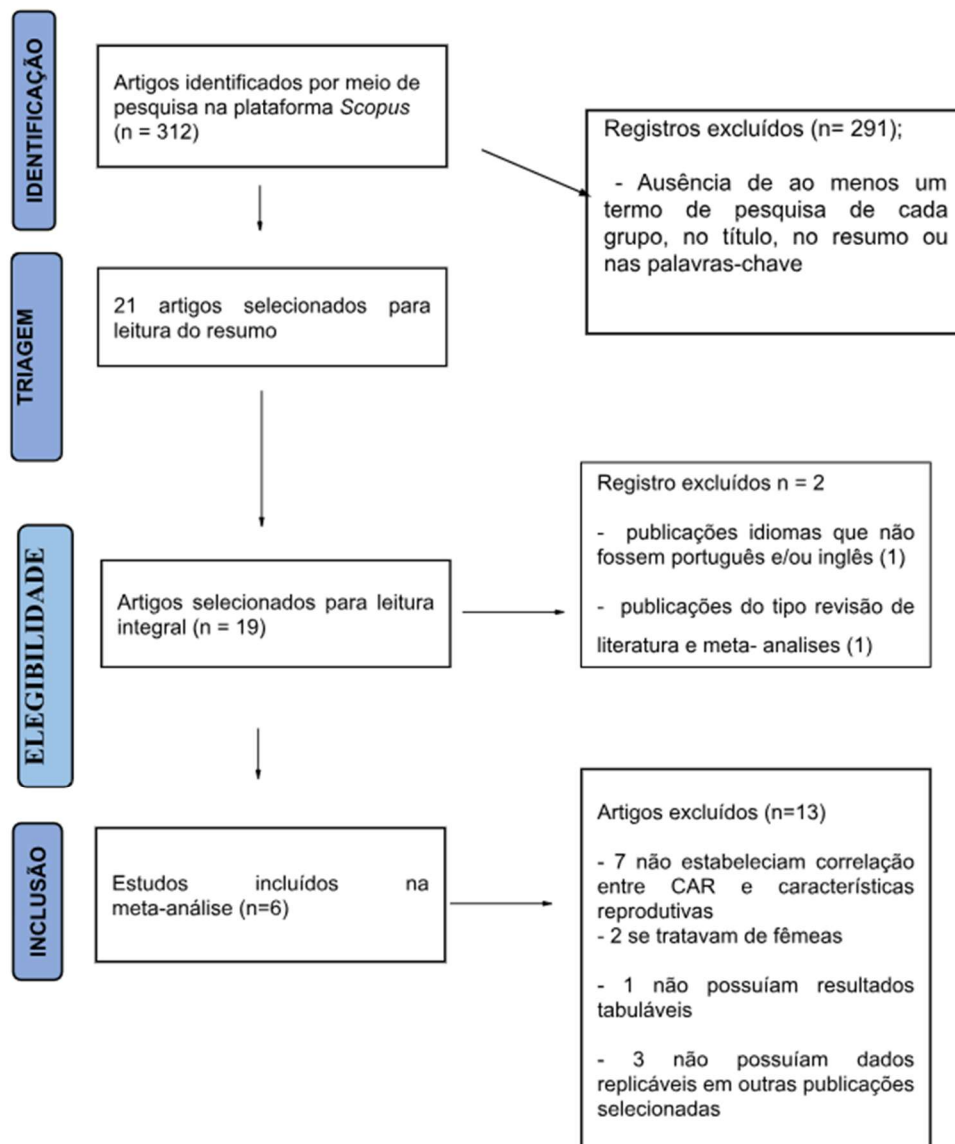


Figura 1. Diagrama das informações obtidas nas diferentes etapas de revisão sistemática, incluindo o número de artigos obtidos e excluídos em cada uma das fases, adaptado das diretrizes do PRISMA (Moher *et al.*, 2009; Galvão, Pansani, Harrad, 2015).

O número e a porcentagem de estudos foram apresentados na Tabela 3 de acordo com as covariáveis categóricas. A maior parte dos estudos, usados na meta-análise, avaliaram as características reprodutivas no próprio animal selecionado por CAR (72,22%), enquanto que a menor parte dos estudos avaliaram as características reprodutivas nas progênes das matrizes selecionadas por CAR (27,78%). Ainda, pode-se observar que a maioria dos estudos foram realizados em animais selecionados por CAR ajustado para espessura de gordura (61,11%) do que por CAR não ajustado (38,89%).

No que diz respeito à composição racial dos animais, nota-se que a maioria dos animais selecionados para CAR são Taurinos, mestiços Britânicos e Continentais (55,56%). Sobre os sistemas automatizados utilizados para avaliação do CAR, metade dos estudos utilizaram GrowSafe (50%) e a outra metade utilizaram Insentec (50%).



Tabela 3. Distribuição de frequência dos estudos selecionados na revisão de literatura sistemática para a meta-análise de acordo com as covariáveis categóricas

Covariável categórica	Frequência		Frequência Acumulada	
	Absoluta (k)	Percentual (%)	Absoluta (k)	Percentual (%)
<i>Teste do CAR</i>				
Próprio touro	13	72,22	13	72,22
Mãe do touro	5	27,78	18	100,00
<i>Modelo[§]</i>				
Não ajustado	7	38,89	7	38,89
Ajustado	11	61,11	18	100,00
<i>Composição racial</i>				
Taurino × Zebu	1	5,55	1	5,55
Cruz terminal	2	11,11	3	16,66
Taurino(Br + Cont)	10	55,56	13	72,22
Taurino (Br)	5	27,78	18	100,00
<i>População</i>				
Base	8	44,44	4	44,44
Selecionados	10	55,56	6	100,00
<i>Sistema automatizado</i>				
GrowSafe	9	50,00	9	50,00
Insentec	9	50,00	18	100,00

k: número de estudos; CAR: consumo alimentar residual; Br: Britânico; Cont: Continental; §: cálculo do CAR usando um modelo sem ajuste ou ajustado para características de carcaça.

As análises descritivas das covariáveis contínuas mostraram que o período médio do teste de CAR nos estudos usados na meta-análise foi de 96,4 dias e que, em média, 68,6% dos animais selecionados por CAR eram da raça Angus (Tabela 4). Também, observou-se que a média de idade dos animais no momento da mensuração da circunferência escrotal (ICE) nos estudos foi de 404,8 dias.

Análises descritivas das variáveis respostas de produção e reprodução também foram realizadas em função dos grupos comparados na meta-análise, que foram animais eficientes *versus* ineficientes (Tabela 4). De forma geral, observa-se médias de características reprodutivas superiores para animais com CAR positivo, indicando que a seleção de animais eficientes (CAR negativo) poderia resultar em prejuízos nas características reprodutivas.

Meta - Análise

O modelo (fixo ou aleatório) utilizado na meta-análise foi determinado através da existência ou não de heterogeneidade entre os estudos para cada variável resposta (Tabela 5). Assim, quando não houve heterogeneidade ($I^2 = 0$; $P > 0,05$) ou quando houve baixa heterogeneidade ($I^2 \leq 25\%$; $P > 0,05$) entre os estudos, estes foram avaliados utilizando os modelos de efeito fixo. Porém, quando os estudos apresentaram média ($I^2 \geq 50\%$; $P \leq 0,05$) ou alta heterogeneidade ($I^2 \geq 75\%$; $P \leq 0,05$), estes foram avaliados através dos modelos de efeito aleatório. Entre as variáveis respostas analisadas, observou-se que a variável de produção CAR e a variável de reprodução ME apresentaram alta e média heterogeneidade, respectivamente.

Ao analisar a medida de efeito (DM), foi possível observar nos estudos que o grupo de animais eficientes (CAR-) tem, em média, um CAR de 1,2914 menor ($P < 0,0001$) do que o grupo dos animais ineficientes (CAR+). No entanto, nenhum efeito de seleção de animais por CAR foi observado para a variável peso corporal (DM = -4,1182 kg; $P = 0,3071$).

Para as variáveis de reprodução, tais como CE (DM = -0,7320; $P < 0,0001$), MPE (DM = -3,6351; $P = 0,0010$), VE (DM = -3,6351; $P = 0,0300$), APM (DM = -0,5999; $P < 0,0001$) e IPMAX (DM = -8,0521;

$P = 0,0013$), houve um efeito da seleção dos animais por CAR, em que o grupo de animais eficientes possuem valores inferiores quando comparado com o grupo de animais ineficientes (Tabela 5), com exceção das anormalidades de peças medianas e intensidade de pixels verificou-se piora das características reprodutivas de circunferência escrotal e viabilidade espermática em animais eficientes. Por outro lado, as variáveis reprodutivas ME ($DM = -5,5139$; $P = 0,0617$), EN ($DM = -1,4453$; $P = 0,4154$), VT ($DM = -10,2399$; $P = 0,4488$), CS ($DM = +0,4375$; $P = 0,9906$), AC ($DM = -0,2520$; $P = 0,6807$), TPPE ($DM = -0,1746$; $P = 0,4463$) e TPDE ($DM = -0,1285$; $P = 0,7032$) não diferiram ($P > 0,05$) entre o grupo de animais eficientes e ineficientes nos estudos avaliados (Tabela 5). De todas as variáveis avaliadas, observou-se um viés de publicação ($P < 0,05$) apenas para a variável MPE.

O modelo a ser utilizado na meta-análise foi determinado através da existência de heterogeneidade entre os estudos. Assim, quando não houve heterogeneidade ($I^2 = 0$; $P > 0,05$) ou quando houve baixa heterogeneidade ($I^2 \leq 25\%$; $P > 0,05$) entre os estudos, estes foram avaliados utilizando os modelos de efeito fixo. Porém, quando os estudos apresentavam média ($I^2 \geq 50\%$; $P \leq 0,05$) ou alta heterogeneidade ($I^2 \geq 75\%$; $P \leq 0,05$) foram avaliados através dos modelos de efeito aleatório (Tabela 5). Assim, observa-se que a variável de produção CAR e a variável de reprodução ME apresentaram alta e média heterogeneidade, respectivamente (Tabela 5).

Para avaliar as causas de heterogeneidade observada entre os estudos para a variável de produção CAR e a de reprodução ME, uma análise de meta-regressão foi conduzida (Tabela 6).

As covariáveis composição racial e população explicaram 93,85% da heterogeneidade da variável CAR, podendo ser observado que o Taurino $\times$ Zebu tiveram um CAR de 1,2093 kg MS/dia menor ($P \leq 0,01$) do que o Taurino (Britânico + Continental) e que os animais selecionados tiveram um CAR de 0,8533 kg MS/dia menor ($P \leq 0,01$) do que os animais base. Para a variável ME, somente a covariável população explicou 94,77% da heterogeneidade, sendo que os animais selecionados tiveram um ME de 14,6597% menor ($P \leq 0,05$) do que os animais base.

A diferença média (DM) entre os grupos comparados (CAR- vs CAR+) dentro de cada covariável categórica, que colaborou para explicar a heterogeneidade das variáveis CAR e ME (Tabela 7), foi estimada através de uma análise de subgrupo (Figura 2, 3 e 4). Na análise de subgrupo da covariável composição racial para a variável CAR (Figura 2), observou-se que os estudos realizados com animais Taurino (Britânico + Continental) resultaram na maior heterogeneidade ($I^2 = 89,2\%$, $P = <0,0001$) quando comparados com animais Taurino $\times$ Zebu. Também, foi possível verificar que o CAR nos animais eficientes foi 1,1869 kg MS/dia menor ($P < 0,0001$) do que nos animais ineficientes, ao analisar o Taurino (Britânico + Continental). Essa diferença foi maior ao analisar o Taurino $\times$ Zebu, em que o CAR nos animais eficientes foi 2,1400 kg MS/dia menor ($P < 0,0001$) do que nos animais ineficientes.

**Tabela 4.** Análise descritiva dos estudos selecionados na revisão de literatura sistemática para a meta-análise de acordo com as covariáveis contínuas e variáveis respostas para avaliação de bovinos de corte de alta (–CAR, “tratados”) e baixa (+CAR, “controle”) eficiência alimentar

Item	CAR	K	Média	DP	Mín.	Perc. 25	Perc. 50	Perc. 75	Máx.
<i>Covariável contínua</i>									
PE (dias)	---	18	96,4	18,25	74,0	74,0	112,0	112,0	112,0
ANG (%)	---	16	68,3	24,11	22,6	54,0	60,4	100,0	100,0
MS (%)	---	16	53,2	13,73	38,0	38,0	53,4	55,0	85,1
PB (%)	---	14	15,3	2,90	11,9	11,9	17,4	18,0	18,0
NDT (%)	---	15	78,3	8,48	67,5	67,5	83,7	85,6	86,5
ICE (dias)	---	18	404,8	43,73	330,0	377,0	405,5	417,0	517,0
<i>Variável resposta</i>									
<i>Produção</i>									
CAR (kg MS/dia)	+CAR	11	0,66	0,289	0,37	0,45	0,54	0,97	1,14
	□CAR	11	-0,64	0,259	-1,17	-0,92	-0,54	-0,45	-0,37
Peso corporal (kg)	+CAR	13	522,1	58,96	396,0	502,0	525,0	565,0	586,0
	□CAR	13	521,3	61,88	395,0	507,0	524,0	560,0	613,0
<i>Reprodução</i>									
CE (cm)	+CAR	14	36,0	2,72	27,6	36,0	36,8	37,5	38,3
	□CAR	14	35,1	3,00	25,2	34,6	36,1	36,6	36,8
ME (%)	+CAR	11	53,4	17,59	30,0	36,4	61,6	67,1	79,7
	□CAR	11	47,1	22,15	18,0	27,0	56,3	62,2	81,7
MPE (%)	+CAR	11	34,4	19,46	14,0	21,4	24,8	58,0	61,7
	□CAR	11	27,9	19,29	8,0	12,0	17,5	51,8	53,8
EN (%)	+CAR	10	70,6	5,07	63,4	65,5	72,0	73,7	77,2
	□CAR	10	69,0	6,07	62,1	65,9	67,1	73,6	82,4
VE (%)	+CAR	7	34,9	4,13	30,0	30,0	34,2	38,8	40,0



	□CAR	7	30,6	8,92	19,0	25,0	28,0	41,0	43,8
VT (%)	+CAR	5	385,0	115,31	325,2	329,1	331,1	348,8	590,6
	□CAR	5	370,0	101,91	322,0	322,3	324,3	329,0	552,2
CS (milhão/mL)	+CAR	4	314,3	23,23	295,0	298,0	307,5	330,5	347,0
	□CAR	4	312,5	53,95	252,0	275,0	308,0	350,0	382,0
AC (%)	+CAR	6	8,0	3,52	5,6	5,7	6,4	9,4	14,6
	□CAR	6	7,6	4,47	4,8	5,4	5,9	7,4	16,6
APM (%)	+CAR	6	8,7	2,36	6,3	7,0	8,1	10,1	12,7
	□CAR	6	9,6	2,86	6,8	7,1	9,0	12,1	13,6
IPMAX (pixels)	+CAR	6	195,5	3,79	189,0	193,4	196,7	198,1	199,0
	□CAR	6	185,1	5,70	175,5	184,3	184,7	189,7	192,0
TPPE (°C)	+CAR	6	32,8	0,60	31,7	32,7	32,9	33,1	33,5
	□CAR	6	32,7	1,04	30,6	32,6	33,1	33,3	33,3
TPDE (°C)	+CAR	6	24,4	1,97	21,3	24,0	24,3	25,1	27,4
	□CAR	6	24,3	1,71	21,5	24,1	24,3	25,0	26,8

k: número de estudos; DP: desvio padrão; Mín.: mínimo; Perc.: percentil; Máx.: máximo; PE: período de teste do consumo alimentar residual; ANG: porcentagem de animais da raça Angus participantes do teste do consumo alimentar residual; MS: porcentagem de matéria seca na dieta; PB: porcentagem de proteína bruta na dieta; NDT: porcentagem de nutrientes digestíveis totais na dieta; ICE: idade ao medir a circunferência escrotal; CAR: consumo alimentar residual; CE: circunferência escrotal; ME: motilidade do espermatozoide; MPE: motilidade progressiva do espermatozoide; EN: espermatozoides normais; VE: viabilidade do espermatozoide; VT: volume do testículo; CS: concentração do sêmen; AC: anormalidades da cabeça; APM: anormalidades da parte mediana; IPMAX: intensidade de pixel máxima; TPPE: termografia da parte proximal do escroto; TPDE: termografia da parte distal do escroto.

Tabela 5. Meta-análise para avaliar os efeitos sobre características de produção e reprodução de bovinos de corte com alta e baixa eficiência alimentar

Variável resposta	k	Modelo	Medida de efeito	Heterogeneidade			Valor de <i>P</i>
			DM (IC 95%)	Valor de <i>P</i>	<i>I</i> ² (%; IC 95%)	Valor de <i>P</i>	Viés (<i>Egger</i>)
<i>Produção</i>							
CAR (kg MS/dia)	11	Aleatório	−1,2914 (−1,6562; −0,9265)	<0,0001	95,7 (93,8; 97,0)	<0,0001	0,4691
Peso corporal (kg)	13	Fixo	−4,1182 (−12,0219; +3,7855)	0,3071	00,0 (00,0; 56,6)	0,9897	0,4746
<i>Reprodução</i>							
CE (cm)	14	Fixo	−0,7320 (−1,0959; −0,3682)	<0,0001	17,3 (00,0; 55,2)	0,2642	0,3617
ME (%)	11	Aleatório	−5,5139 (−11,3555; +0,3277)	0,0617	53,1 (07,0; 76,3)	0,0190	0,2394
MPE (%)	11	Fixo	−3,9734 (−6,3309; −1,6158)	0,0010	04,8 (00,0; 62,1)	0,3978	0,0269
EN (%)	10	Fixo	−1,4453 (−4,9237; +2,0331)	0,4154	00,6 (00,0; 62,6)	0,4326	0,5772
VE (%)	7	Fixo	−3,6351 (−6,9176; −0,3527)	0,0300	48,4 (00,0; 78,2)	0,0710	0,9051
VT (%)	5	Fixo	−10,2399 (−36,7387; +16,2589)	0,4488	00,0 (00,0; 79,2)	0,8971	0,1607
CS (milhão/mL)	4	Fixo	+0,4375 (−71,9763; +72,8513)	0,9906	00,0 (00,0; 84,7)	0,6001	0,9055
AC (%)	14	Fixo	−0,2520 (−1,4524; +0,9484)	0,6807	00,0 (00,0; 74,6)	0,4720	0,7128
APM (%)	16	Fixo	−0,5999 (−0,6553; −0,5444)	<0,0001	22,1 (00,0; 66,4)	0,2676	0,4997
IPMAX (pixels)	6	Fixo	−8,0521 (−12,9502; −3,1540)	0,0013	01,9 (00,0; 75,1)	0,4040	0,1231
TPPE (°C)	6	Fixo	−0,1746 (−0,6238; +0,2746)	0,4463	12,2 (00,0; 77,7)	0,3369	0,7748
TPDE (°C)	6	Fixo	−0,1285 (−0,7892; +0,5323)	0,7032	00,0 (00,0; 74,9)	0,8091	0,8071

k: número de estudos; DM: diferença média (medida de efeito); IC: intervalo de confiança; MS: matéria seca; CAR: consumo alimentar residual; CE: circunferência escrotal; ME: motilidade do espermatozoide; MPE: motilidade progressiva do espermatozoide; EN: espermatozoides normais; VE: viabilidade do espermatozoide; VT: volume do testículo; CS: concentração do sêmen; AC: anormalidades da cabeça; APM: anormalidades da parte mediana; IPMAX: intensidade de pixel máxima; TPPE: termografia da parte proximal do escroto; TPDE: termografia da parte distal do escroto.



Tabela 6. Inferência sobre múltiplos modelos através de estatísticas que computam a importância dos preditores (covariáveis) para seleção do melhor modelo a ser usado na análise de meta-regressão

Variável resposta	Covariável										
	Categórica					Contínua					
	TCA R	MO D	CR	PO P	SIS T	PE	ANG	M S	P B	ND T	ICE
<i>Produção</i>											
CAR (kg MS/dia)	×	0,01	0,66	0,99	0,01	0,33	0,01	×	×	×	0,32
<i>Reprodução</i>											
ME (%)	×	0,04	0,09	0,90	0,16	0,04	0,16	×	×	×	0,05

×: Covariável não incluída no modelo por apresentar apenas um nível ou dados perdidos; CAR: consumo alimentar residual; ME: motilidade do espermatozoide; TCAR: teste do consumo alimentar residual; MOD: modelo; CR: composição racial; POP: população; SIST: sistema automatizado; PE: período de teste do consumo alimentar residual; ANG: porcentagem de animais da raça Angus participantes do teste do consumo alimentar residual; MS: porcentagem de matéria seca na dieta; PB: porcentagem de proteína bruta na dieta; NDT: porcentagem de nutrientes digestíveis totais na dieta; ICE: idade ao medir a circunferência escrotal (dias). Modelos com os menores valores de *Akaike Information Criterion (AIC)* contendo as covariáveis mais relevantes (acima de 0,50) foram escolhidos para a análise de meta-regressão da variável resposta.

Tabela 7. Análise de meta-regressão para investigação da heterogeneidade encontrada durante a meta-análise nas variáveis de produção e reprodução de bovinos de corte com alta e baixa eficiência alimentar

Covariável	Variável resposta	
	Produção	Reprodução
	CAR (kg MS/dia)	ME (%)
k	11	11
Intercepto	-0,9307**	-1,9666 ^{ns}
Categórica		
<i>Composição racial</i>		
Taurino × Zebu	-1,2093**	---
Taurino (Br + Cont)	Referência	---
Taurino (Br)	---	---
<i>População</i>		
Base	Referência	Referência
Selecionados	-0,8533**	-14,6597*
R ² ajustado (%)	93,85	94,77

Coefficiente de regressão (ns: não significativo; * $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$); CAR: consumo alimentar residual; ME: motilidade do espermatozoide; k: número de estudos; Br: Britânico; Cont: Continental.

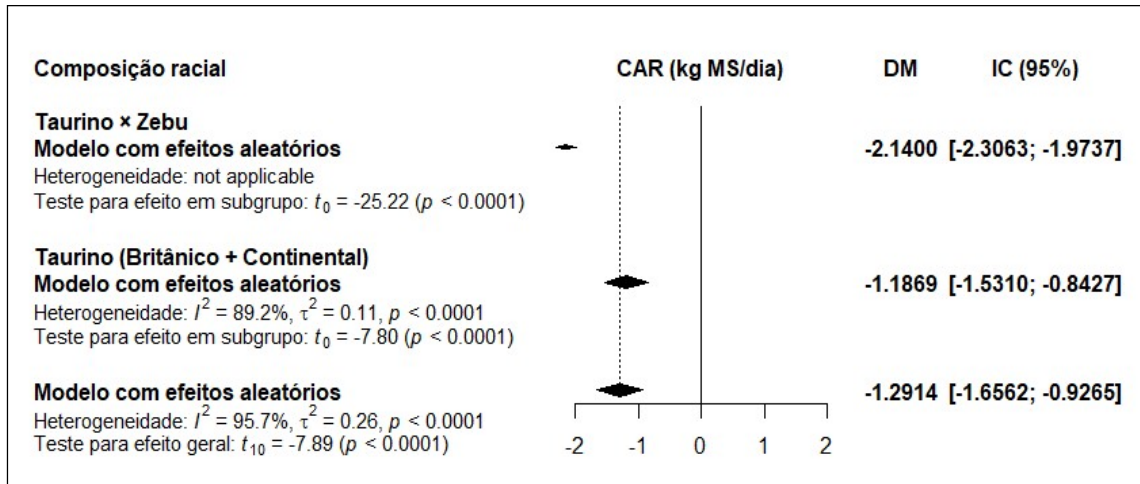


Figura 2. Análise de subgrupo para investigação da heterogeneidade causada pelo efeito da composição racial sobre o consumo alimentar residual (CAR) em bovinos de corte de alta e baixa eficiência alimentar. DM: diferença média; IC: intervalo de confiança.

Na análise de subgrupo da covariável categórica população para a variável CAR (Figura 3), foi possível verificar que o CAR nos animais eficientes foi 1,0964 kg MS/dia menor ($P = 0,0009$) do que nos animais ineficientes na população base, enquanto que o CAR nos animais eficientes foi 1,6955 kg MS/dia menor ($P = 0,0061$) do que nos animais ineficientes na população dos selecionados. Verificou-se também que a população base foi responsável por uma heterogeneidade de 96,6% ($P < 0,0001$) e que a população dos selecionados foi responsável por uma heterogeneidade de 78,6% ($P = 0,0061$).

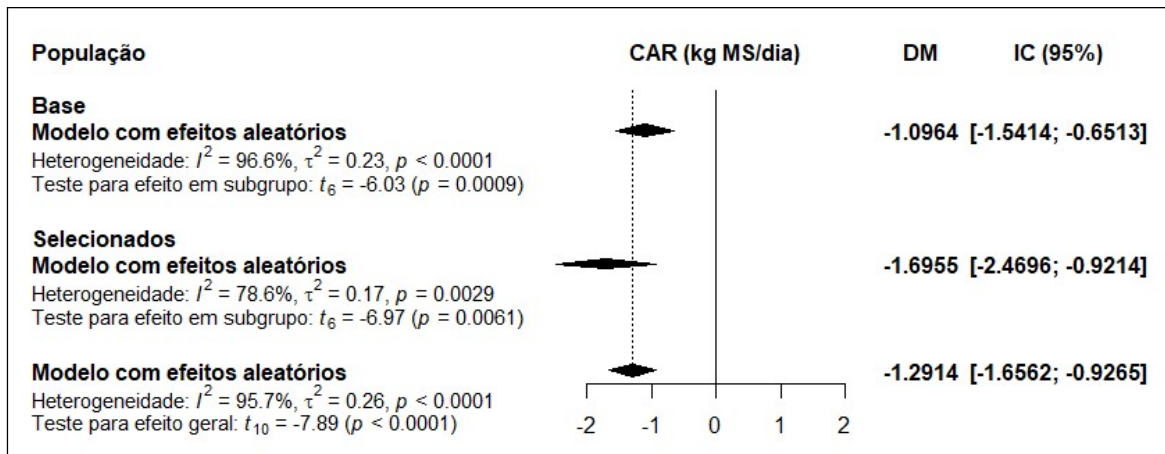


Figura 3. Análise de subgrupo para investigação da heterogeneidade causada pelo efeito da população sobre o consumo alimentar residual (CAR) em bovinos de corte de alta e baixa eficiência alimentar. DM: diferença média; IC: intervalo de confiança.

Na análise de subgrupo da covariável categórica população, sobre a variável ME (Figura 4), ambas as populações apresentaram valores de negativos (base -1.9886, $P = 0,2129$ e selecionados -15.8736, $P = 0,0516$) o que demonstra que não houve efeito desta covariáveis sobre o ME, significando que a motilidade espermática não sofre alterações significativas quando analisada nas diferentes populações classificadas para eficiência CAR. Na análise da população base não foi observada heterogeneidade ($I^2 = 0$), já na análise da população de animais selecionados foi observada heterogeneidade baixa ($I^2 = 35\%$).

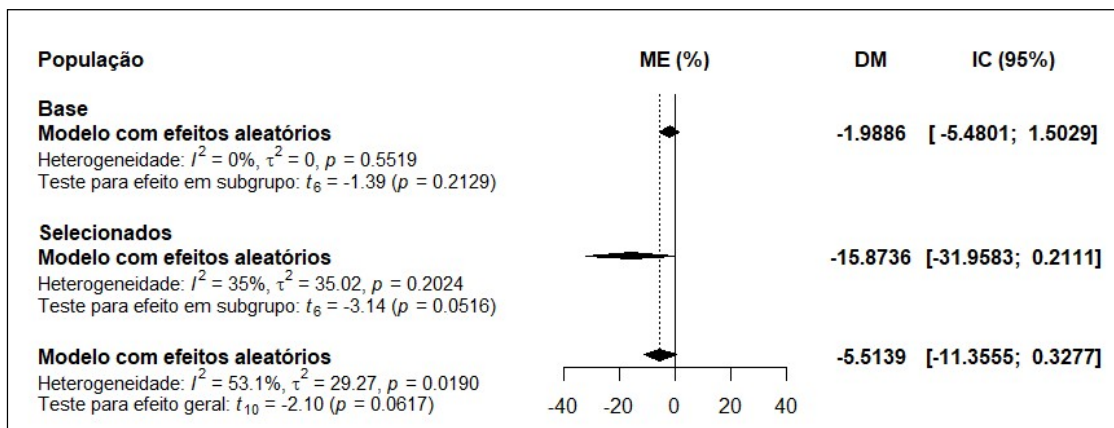


Figura 4. Análise de subgrupo para investigação da heterogeneidade causada pelo efeito da população sobre a motilidade do espermatozoide (ME) em bovinos de corte de alta e baixa eficiência alimentar. DM: diferença média; IC: intervalo de confiança

Discussão

Com base na declaração dos principais itens para relatar revisões sistemáticas e meta-análises, o relatório de PRISMA, uma revisão sistemática deve ser estruturada com no mínimo três bases de dados. O presente estudo utilizou somente a plataforma *Scopus*, o que pode ser reconhecido com uma possível fragilidade do estudo, o que sugere a realização de estudos posteriores (PRISMA, 2020).

Na meta-análise observou-se a presença de heterogeneidade entre as variáveis de produção CAR e de reprodução ME. Segundo Galvão e Pereira (2014), a abordagem estatística da meta-análise busca incluir estudos por meio de revisão sistemática que apresentem maior semelhança possível para evitar a heterogeneidade. Quanto mais heterogeneidade mais questionável é a validade de se combinar estes resultados, diante disto recomenda-se analisar as causas do efeito (Galvão e Pereira, 2014). Castro (2001) sugere que para analisar a causa em relação às variáveis categóricas utilizou-se a análise de subgrupos e para analisar sua causa sobre a variáveis contínuas o cálculo de meta-regressão, ambos foram utilizados neste estudo para avaliar as causas de heterogeneidade para CAR e ME.

Impacto da Puberdade sobre o CAR e Fertilidade

A avaliação de CAR deve ser realizada o mais precoce possível, visando economia de consumo alimentar, por isso, a mesma geralmente é realizada logo após a desmama. Já as características reprodutivas são obtidas após o período da puberdade que varia entre 12 e 14 meses em taurinos e de 25 a 28 meses em zebuínos (Mello et al., 2014). O predomínio de cruzamentos com raças taurinas nos estudos também pode ser justificado por essa precocidade, isto porque, a média da idade dos animais avaliados nos estudos selecionados foi de 404,8 dias de idade, o que representa aproximadamente 13 meses (Tabela 4).

Deve-se ressaltar que as pesquisas apresentadas na literatura avaliaram touros jovens e que as análises devem considerar que vários fatores afetam as características do sêmen, tais como, raça, peso, ano e época da avaliação do sêmen e, principalmente, a idade do animal avaliado (Lima, 2013). Esses mesmos autores concluíram em seus estudos que com o aumento da idade, de 27 para 39 meses, em bovinos das raças Canchim e Nelore, características físicas e morfológicas do sêmen tenderam a melhorar, o que correspondeu também ao incremento da circunferência escrotal dos touros. Sabendo que, em animais imaturos, o número de espermatozoides viáveis é menor do que em animais maduros, deve-se considerar a possibilidade desse fato interferir nos resultados de relações com o CAR (Lima, 2013).

O teste de assimetria de Egger utilizado para avaliar o viés de publicação indicou que os estudos avaliados na presente meta-análise estão de acordo com a realidade, demonstrando assim, ausência de viés de publicação ($P > 0,05$) para a maioria das variáveis analisadas, com exceção para MPE (Tabela 5).

Nelson et al. (1982) e Silva (2019) afirmam que a deposição de gordura é essencial para o desenvolvimento da puberdade, o que é um fator crítico para touros em idade de crescimento. Diante disto, pode-se associar a presença de viés de publicação na avaliação de MPE neste estudo, à subjetividade da variável em relação à idade dos animais nos diferentes estudos, a influência desta idade capacidade reprodutiva e a divergência da capacidade reprodutiva nos diferentes grupos CAR, como descrito por Awda et al. (2013), onde classifica animais eficientes como mais tardios.

Awda et al. (2013) verificaram em animais taurinos participantes de teste de eficiência alimentar, que a seleção de animais para eficiência alimentar foi negativamente associada com a motilidade e viabilidade espermática, ou seja, animais de CAR eficientes apresentaram sêmen com menor motilidade e vigor. O resultado de Awda et al. (2013) pode ser devido a utilização de animais com idade média de 274 dias, indicando que touros de baixo CAR são menos precoces para atingir a puberdade, diferente do observado no presente estudo. Portanto, realizando a comparação de touros de baixos e alto CAR que alcançaram a puberdade, não foi verificada diferenças na qualidade de sêmen.

Composição Racial

O cálculo de meta-regressão mostra que as principais causas heterogeneidade nas variáveis CAR e ME são a composição racial dos grupos de animais selecionados e o tipo de população, que varia em animais avaliados para CAR e animais avaliados para CAR ajustado para espessura de gordura. Observou-se um maior efeito do grupo racial formado por animais taurinos x zebuínos, demonstrando que este grupo racial apresenta mais animais eficientes para CAR que os demais grupos analisados. Este grupo racial é o menos evidenciado nos estudos abordados, sendo que dos 904 animais avaliados somente 112 apresentam-se nesta categoria (Tabela 3). Almeida et. al. (2004), classificam a variação fenotípica de CAR para bovinos zebuínos como sendo igual ou superior à observada em estudos realizados somente com animais taurinos, onde houve uma variação de 0,41 a 1,05 kg de MS/dia.

Na análise de subgrupos, a composição racial Continental x Britânico apresentou maior heterogeneidade e maior efeito sobre o CAR, o que pode ser explicado pela maior frequência de animais pertencentes a este grupo nos estudos abordados (Tabelas 3).

Impacto Da Espessura De Gordura E Peso Vivo

Apesar de a avaliação de frequência (Tabela 3) demonstrar que mais estudos abordaram uma população de animais selecionados para CAR adaptado para espessura de gordura, a população base apresentou maior efeito e maior heterogeneidade sobre CAR na análise de subgrupos (Figura 3). Alguns estudos fazem associação negativa entre o CAR, a deposição de gordura e a reprodução (Basarab et al, 2003; Arthur et al., 2005; Nkrumah et al., 2007), diante disto, Silva (2019) defende que a incorporação da espessura de gordura no cálculo de avaliação do CAR, possibilita a eliminação de efeitos negativos associados a seleção de CAR. Podemos então associar a heterogeneidade presente na população base como devida há uma menor seletividade populacional e menor homogeneidade, ou seja, a população base tem influência de efeitos indesejáveis como carcaças mais magras por exemplo.

Na avaliação de subgrupos sobre a variável ME, a população de animais selecionados apresentou heterogeneidade baixa (35%) (Figura - 4). De acordo com Silva (2019), a espessura de gordura é um fator integrante para o desenvolvimento e maturação sexual, os grupos selecionados levam este fator em consideração na avaliação de CAR, porém, Awda et al. (2013) justifica uma menor motilidade e viabilidade espermáticas em grupos eficientes para CAR, associada à imaturidade reprodutiva dos animais no momento da coleta, por estes terem mais dificuldade de atingir a puberdade. A idade média dos animais do presente estudo foi de 404,8 dias, animais ainda na fase de puberdade, o que pode justificar os resultados. A soma entre a espessura de gordura e a imaturidade reprodutiva pode ter gerado esse efeito.

A eficiência alimentar dos animais domésticos é baseada em informações de consumo e mensuração do peso vivo dos animais (Grion et al. 2014). Na presente meta-análise não foi observada diferença ($p < 0,05$) entre o peso de animais mais ou menos eficientes, corroborando com os achados de Lima et al. (2013) e Marinho (2019), que também não observaram diferença ($p < 0,05$) no ganho de peso entre animais eficientes e não eficientes. Em 2008, Arthur e Herd classificaram o peso como uma



característica independente na avaliação do CAR.

Circunferência Escrotal

A fertilidade dos touros e sua capacidade de reproduzir-se, é uma das características de maior peso na pecuária de corte, onde, a reprodução constitui um fator limitante à produção, principalmente se tratando de criações extensivas (Silva et al., 2002).

Silva et al. (1993) afirmam que na avaliação da capacidade reprodutiva do touro pode-se utilizar vários parâmetros, dentre eles, a circunferência escrotal e a qualidade do sêmen. Cyrillo et al. (2001) e Ortiz Penã et al. (2001) avaliaram a circunferência escrotal, como sendo uma característica de alta herdabilidade e repetitividade, o que demonstra a importância de considerar este parâmetro na escolha dos reprodutores. Ainda, a circunferência escrotal possui uma correlação positiva com o ganho de peso corporal em diferentes idades (Eler et al., 1996; Quirino & Bergman, 1997; Cyrillo et al., 2001).

Arthur et al. (2001), Schenkel et al. (2004) e Hafla et al. (2012) afirmam que o consumo alimentar residual não possui associação fenotípica com a avaliação da circunferência escrotal e da motilidade espermática. No presente estudo, animais CAR eficientes demonstraram valores de circunferência escrotal, motilidade espermática progressiva e viabilidade espermática inferiores a valores de animais CAR ineficientes; estes achados corroboram com os achados de Awda et al. (2013) que observaram menores valores de circunferência escrotal e taxas de motilidade espermática em animais CAR eficientes. Awda et al. (2013) observa ainda um aumento de 7,8% no escroto de animais ineficientes em relação a animais eficientes. Fontoura et al. (2016) e Hafla (2012) não observaram diferença, na avaliação de circunferência escrotal entre animais mais eficientes e menos eficientes para CAR. Embora a avaliação de circunferência escrotal esteja relacionada à capacidade de produção espermática e qualidade do sêmen, um menor valor para os animais eficientes pode estar relacionado à idade dos animais no momento da avaliação.

Anormalidades de peça mediana, Motilidade Espermática

As anormalidades de peça mediana dos espermatozoides (APM), considerada peça intermediária, são classificadas como defeitos maiores na avaliação da morfologia espermática, de acordo com o Colégio Brasileiro de Reprodução Animal (CBRA, 2013). Neste estudo foi observada uma divergência entre a avaliação da APM de touros eficientes e não eficientes para CAR, sendo que animais eficientes expressaram menor número de defeitos de APM, que animais considerados ineficientes. Este achado corrobora com os de Borges (2021), que avaliando duas categorias de CAR (convencional e adaptado a avaliação ultrassonográfica da carcaça) observou a presença de maiores valores de defeitos espermáticos menores entre animais de CAR ineficientes em ambas as avaliações realizadas. Wang et al. (2012) e Bruinjé et al. (2019) não observaram diferenças nos defeitos espermáticos entre animais de grupos distintos para CAR. No entanto, nos estudos realizados por Hafla et al. (2012), Fontoura et al. (2016) e Bourgon et al. (2018), a maior porcentagem de defeitos espermáticos foi verificada em animais eficientes para CAR.

Em 2012, Wang et al. avaliaram a motilidade espermática de animais selecionados para CAR, e concluíram que, uma proporção maior de animais CAR eficientes em relação a animais CAR ineficientes não alcançaram o mínimo de 60% de espermatozoides competentes para tal característica. Neste estudo, a avaliação de motilidade não apresentou diferença significativa dentre os grupos ($DM = -3,9734$), porém a motilidade progressiva de animais eficientes foi menor que a de animais ineficientes.

Viabilidade Espermática e Intensidade de Pixels

A viabilidade do espermatozoide foi uma variável que demonstrou valores inferiores dentre os animais mais eficientes para o consumo alimentar residual, refletindo parâmetros observados por Hafla et al. (2012), que sugeriram que touros considerados eficientes apresentavam avaliações desfavoráveis para a morfologia espermática, e Awda et al. (2013) que relatam a diminuição da motilidade e viabilidade espermática em animais com CAR eficientes.

Rosi (2017) não observou diferença na intensidade de pixels da avaliação ultrassonográfica, entre os animais divergentes para o CAR, porém propõem que há divergências na avaliação realizada em diferentes idades. Da mesma maneira, Kriek (2019) afirma que não há diferença entre CAR positivos e negativos em relação à intensidade de pixels das imagens ultrassonográficas, porém discorda afirmando que mesmo em diferentes idades, a intensidade continua não apresentando diferença.



No presente estudo foi observado que animais ineficientes apresentaram intensidade máxima de pixels maior que animais eficientes, o que anteriormente foi observado por Fontoura et al. (2016) e Bourgon et al. (2018). Recentemente, Borges (2019) obteve resultados contrários aos observados, onde animais ineficientes demonstraram valor de Intensidade máxima de pixels menores que animais eficientes. Kastelic e Brito (2012) afirmam que tais diferenças podem estar relacionadas às idades divergentes dos animais, pois a espermatogênese pode alterar o padrão de intensidade de pixels. Ainda, Rodrigues et al. (2020) destaca que há uma considerável divergência dos valores de intensidade de pixels entre as diferentes raças bovinas (zebuínos e taurinos).

Animais de baixo CAR para consumo alimentar residual apresentaram menor gasto energético do metabolismo, em concordância com a menor temperatura na parte superior dos testículos. Este menor gasto energético não influencia as características obtidas no exame andrológico. Desta forma, provavelmente os touros selecionados para consumo alimentar residual seriam animais aptos com relação a qualidade seminal e adequados para uso como reprodutores. Portanto, a seleção para eficiência alimentar baseada no CAR poderia não ter impacto negativo sobre desempenho reprodutivo e fertilidade em touros, mas ressalta-se que, a diminuição da CE e a diminuição da VE associada a animais eficientes quanto ao CAR necessita de mais pesquisas.

As variáveis ME, EM, VT, CS, AC, TPPE e TDE não apresentaram divergências entre animais eficientes e não eficientes. Os mesmos resultados foram verificados por Wang et al. (2012), Bruinje et al. (2019) e Borges (2021).

Considerações finais

O estudo de meta-análise não demonstrou um efeito favorável do CAR sobre as avaliações de circunferência escrotal, motilidade espermática progressiva, viabilidade espermática, anormalidades de parte mediana e a intensidade de pixels. Os animais eficientes obtiveram melhores índices somente para anormalidades de cabeça e na grande maioria de aspectos não foram observadas diferenças entre os animais analisados.

Frente aos trabalhos citados, nota-se que o CAR tem o potencial de melhorar a lucratividade do sistema de produção de carne bovina, visto o incremento da eficiência alimentar, entretanto, em razão da importância econômica de índices reprodutivos, são necessárias mais pesquisas que explorem associações entre CAR e fertilidade em bovinos, sobretudo *Bos indicus*. A seleção de animais melhoradores deve ser realizada com sensatez, considerando variáveis economicamente relevantes, como CAR, características produtivas e reprodutivas, para que seja possível realizar uma seleção equilibrada e harmônica de touros melhoradores para a pecuária brasileira.

Referências

- Archer, J. A.; Arthur, P. F.; Herd, R. M. Optimum postweaning test for measurement of growth rate, feed intake, and feed efficiency in British breed cattle. *Journal of Animal Science*, Champaign, v.75, n.8, p.2024-2032, 1997.
- ARTHUR, P. F.; ARCHER, J. A.; HERD, R. M.; MELVILLE, G. J. Response to selection for net feed intake in beef cattle. In: CONFERENCE OF THE ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF ANIMAL BREEDING AND GENETICS, 14, 2001, Queenstown. Proceedings... Queenstown: AAABG, 2001. p. 135-138.
- ARTHUR, P. F.; HERD, R. M. Residual feed intake in beef cattle. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, v.37, p.269-279, 2008.
- ARCHER, J. A.; REVERTER, A.; HERD, R. M.; JOHNSTON, D. J.; ARTHUR, P. F. Genetic variation in feed intake and feed efficiency of mature beef cows and relationships with postweaning measurements. In: WORLD CONGRESS ON GENETICS APPLIED TO LIVESTOCK PRODUCTION, 7., 2002, Montpellier. Proceedings... Montpellier: World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, 2002. p. 221-224.
- AKAIKE, H. (1973). Information theory and an extension of the maximum likelihood principle, in Petrov, B. N.; Csáki, F. (eds.), 2nd International Symposium on Information Theory, Tsahkadsor, Armenia, USSR, September 2-8, 1971, Budapest: Akadémiai Kiadó, pp. 267-281.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNES (Brasil). Apex Brasil. Beef Report - Sumário da Pecuária no Brasil. 2020. Disponível em: <http://abiec.com.br/wp->



- content/uploads/SUM%C3%81RIO-BEEF-REPORT-2020_NET-4.pdf. Acesso em: 01 maio de 2022.
- AWDAB, J., MILLERS, P., MONTANHOLI, R., VOORTG. VANDER, CALDWELL, T., BUHRM. M., AND SWANSON, C.. The relationship between feed efficiency traits and fertility in young beef bulls. *Canadian Journal of Animal Science*. 93(2): 185-192. <https://doi.org/10.4141/cjas2012-092>
- AZEVEDO, Vitor Blehm. ESTIMATIVA DA EFICIÊNCIA ALIMENTAR RESIDUAL DE TERNEIROS BRANGUS DESMAMADOS PORTO ALEGRE 2018. 2018. 41 f. TCC (Graduação) - Curso de Zootecnia, Zootecnia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.
- BAENA, Cristina Pellegrino et al. REVISÃO SISTEMÁTICA E METANÁLISE: padrão ouro de evidência?. *Revista Médica da Ufpr*, [S.L.], v. 1, n. 2, p. 70, 30 jun. 2014. Universidade Federal do Paraná. <http://dx.doi.org/10.5380/rmu.v1i2.40706>.
- BARCELLOS, J.O.J. Manejo integrado: um conceito para aumentar a produtividade dos sistemas de produção de bovinos de corte. In: LOBATO, J.F.P.; BARCELLOS, J.O.; KESSLER, A.M. (Eds.). *Produção de bovinos de corte Porto Alegre: EDIPUC*, 1999. p.287-313.
- BARTH AD and OMINSKI KH 2000. The relationship between scrotal circumference at weaning and at one year of age in beef bulls. *Canadian Journal of Animal Science* 41, 541-546.
- BASARAB, J. A.; PRICE, M. A.; AALHUS, J. L.; OKINE, E. K.; SNELLING, W. M.; LYLE, K. L. Residual feed intake and body composition in young growing cattle. *Canadian Journal of Animal Science*, Ottawa, v.83, p. 189-204, 2003.
- BASARAB, J. A.; MCCARTNEY, D.; OKINE, E. K.; BARON, V. S. Relationships between progeny residual feed intake and dam productivity traits. *Canadian Journal Animal Science*, Ottawa, v.87, p. 489-502, 2007.
- BERWANGER, Otávio; SUZUMURA, Erica Aranha; BUEHLER, Anna Maria; OLIVEIRA, João Bosco. Como avaliar criticamente revisões sistemáticas e metanálises? *Revista Brasileira de Terapia Intensiva*, [S.L.], v. 19, n. 4, p. 475-480, dez. 2007. GN1 Genesis Network. <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-507x2007000400012>.
- BORGES, Marcelo Sant'ana. RELAÇÃO ENTRE CONSUMO ALIMENTAR RESIDUAL E PARÂMETROS SEMINAIS E ULTRASSONOGRAFIA TESTICULAR DE TOUROS DA RAÇA NELORE. 2021. 68 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Produção Animal Sustentável, Instituto de Zootecnia, Secretaria de Agricultura e Abastecimento Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios, Sertãozinho, 2021. Disponível em: <https://assets.researchsquare.com/files/rs-1319147/v1/e644f491-e4a7-48aa-addc-db6424ff759d.pdf?c=1645181372>. Acesso em: 02 fev. 2022.
- BOURGON, S.L.; AMORIM, M. Diel de; CHENIER, T.; SARGOLZAEI, M.; MILLER, S.P.; MARTELL, J.e.; MONTANHOLI, Y.R.. Relationships of nutritional plane and feed efficiency with sexual development and fertility related measures in young beef bulls. *Animal Reproduction Science*, [S.L.], v. 198, p. 99-111, nov. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.anireprosci.2018.09.007>.
- BRITO LF, SILVA AE, BARBOSA RT, KASTELIC JP (2004) Testicular thermoregulation in *Bos indicus*, crossbred and *Bos taurus* bulls: relationship with scrotal, testicular vascular cone and testicular morphology, and effects on semen quality and sperm production. *Theriogenology* 61:511-528.
- BRUINJÉ, T.C. et al. Morphology, membrane integrity, and mitochondrial function in sperm of crossbred beef bulls selected for residual feed intake. *Canadian Journal Of Animal Science*, [S.L.], v. 99, n. 3, p. 456-464, 1 set. 2019. Canadian Science Publishing. <http://dx.doi.org/10.1139/cjas-2018-0103>.
- CASTRO, Aldemar Araujo. Revisão Sistemática: Análise e Apresentação dos Resultados. In: GOLDENBERG, Saul; GUIMARÃES, Carlos Alberto; CASTRO, Aldemar Araujo. *Elaboração e Apresentação de Comunicação Científica*. São Paulo: Aac, 2001. Cap. 7. p. 81-122.
- COLÉGIO BRASILEIRO DE REPRODUÇÃO ANIMAL- CBRA. Manual para exame andrológico e avaliação de sêmen animal. 3.ed. Belo Horizonte, MG, 2013.
- CREWS, D.H.; CARSTENS, G.e.; LANCASTER, P.A.. A Multiple Trait Selection Index Including Feed Efficiency11AAFC-LRC contribution number 38705050. *The Professional Animal Scientist*, [S.L.], v. 22, n. 1, p. 65-70, fev. 2006. American Registry of Professional Animal Scientists. [http://dx.doi.org/10.15232/s1080-7446\(15\)31062-7](http://dx.doi.org/10.15232/s1080-7446(15)31062-7).
- CROZARA, Adriano Santana et al. Uso da automação para estimação de consumo alimentar, peso vivo e eficiência alimentar em bovinos de corte. 2018. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1101355/1/DissertacaoAdrianoSantanaCrozara2018apagar.pdf>
- CYRILLO, J.N.S.G.; RAZOOK, A.G.; FIGUEIREDO, L.A. et al. Estimativa de tendências e parâmetros



- genéticos do peso padronizado aos 378 dias de idade, medidas corporais e perímetro escrotal de machos Nelore de Sertãozinho, SP. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.30, n.1, p.56-65, 2001.
- DE ALENCAR, Maurício Mello; BARBOSA, Pedro Franklin. Melhoramento genético de gado de corte no Brasil. In: Embrapa Pecuária Sudeste-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO ANIMAL, 8., 2010, Maringá. Melhoramento animal no Brasil: uma visão crítica-anais. Maringá: SBMA, 2010, 2010.
- DERSIMONIAN, R., & LAIRD, N. (1986). Meta-analysis in clinical trials. *Controlled Clinical Trials*, 7(3): 177-88.
- EGGER, M., SMITH, G. D., SCHNEIDER, M., & MINDER, C. (1997). Bias in meta-analysis detected by a simple, graphical test. *BMJ*, 315(7109): 629-34
- Harbord, R. M., Higgins, J. P. T. (2008). Meta-regression in Stata. *Stata Journal*, 8(4): 493-519.
- ELER, J.P.; FERRAZ, J.B.; SILVA, P.R. Estimação simultânea de parâmetros genéticos para características de importância econômica na raça Nelore, com a utilização de modelos animais. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 33., 1996, Fortaleza. Anais... Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 1996. p.99-101.
- FERREIRA, Fabiano Andrade et al. Consumo alimentar residual em bovinos de corte: alimentação, eficiência, pecuária, seleção. *A Revista Eletrônica Nutritime*, Viçosa, v. 6, n. 12, p. 4368-4378, dez/jan 2015. Bimestral. Disponível em: http://nutritime.com.br/arquivos_internos/artigos/338_-_4368-4378_-_NRE_12-6_nov-dez_2015.pdf. Acesso em: 04 fev. 2021
- FONTOURA, A.B.P.; MONTANHOLI, Y.R.; AMORIM, M. Diel de; FOSTER, R.A.; CHENIER, T.; MILLER, S.P.. Associations between feed efficiency, sexual maturity and fertility-related measures in young beef bulls. *Animal*, [S.L.], v. 10, n. 1, p. 96-105, 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1017/s1751731115001925>.
- GRION, A.L., M.E.Z. MERCADANTE, J.N.S.G. CYRILLO, S.F.M. BONILHA, E. MAGNANI, AND R.H. BRANCO. 2014. Selection for feed efficiency traits and correlated genetic responses in feed intake and weight gain of Nelore cattle. *J. Anim. Sci.* 92:955- 965. doi:10.2527/jas2013-6682
- GUIMARÃES, Tiago Pereira. CONSUMO ALIMENTAR RESIDUAL DE TOUROS DA RAÇA NELORE EM SISTEMA DE CONFINAMENTO. 2013. 54 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência Animal, Produção Animal, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2013.
- HAFLA AN, LANCASTER PA, CARSTENS GE, FORREST DW, FOX JT, FORBES TD, DAVIS ME, RANDEL RD AND HOLLOWAY JW 2012. Relationships between feed efficiency, scrotal circumference, and semen quality traits in yearling bulls. *Journal of Animal Science* 90, 3937-3944
- HAFLA, A. N.; LANCASTER, P. A.; CARSTENS, G. E.; FORREST, D. W.; FOX, J. T.; FORBES, T. D. A.; DAVIS, M. E.; RANDEL, R. D.; HOLLOWAY, J. W.. Relationships between feed efficiency, scrotal circumference, and semen quality traits in yearling bulls. *Journal Of Animal Science*, [S.L.], v. 90, n. 11, p. 3937-3944, 1 nov. 2012. Oxford University Press (OUP). <http://dx.doi.org/10.2527/jas.2011-4029>.
- HIGGINS, J. P. T., THOMPSON, S., DEEKS, J., & ALTMAN, D. (2002). Statistical heterogeneity in systematic reviews of clinical trials: a critical appraisal of guidelines and practice. *Journal of Health Services Research and Policy*, 7: 51-61.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2006. Disponível em <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv61914.pdf>.
- JOHNSON, Chinju et al. Impacts of residual feed intake and pre-natal diet on reproductive potential of bulls. *Animal Production Science*, [S.L.], v. 59, n. 10, p. 1827, 2019. CSIRO Publishing. <http://dx.doi.org/10.1071/an18301>. Disponível em: https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85068419967&origin=resultslist&sort=cp-f&listId=57320154&listTypeValue=Docs&src=s&nlo=&nlr=&nls=&imp=t&sid=8e8f02ad1eb640642d9c756db1ca7c98&sot=sl&sdt=sl&sl=0&relpos=5&citeCnt=6&searchTerm=&featureToggles=FEATURE_NEW_DOC_DETAILS_EXPORT:1. Acesso em: 08 ago. 2021.
- KRIECK, F.M.T. Eficiência alimentar e qualidade seminal de touros jovens da raça nelore. Dissertação (Dissertação Mestre em Genética e Melhoramento Animal) – UNESP. Jaboticabal, p. 36, 2019.
- KOWALSKI, Luciana Helena. CONSUMO ALIMENTAR RESIDUAL E SUAS RELAÇÕES COM CARACTERÍSTICAS REPRODUTIVAS DE BOVINOS PURUNÃ EM CRESCIMENTO. 2014. 82 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Graduação em Ciência Animal,, Produção Animal, Universidade Federal do Paraná, Palotina, 2014.
- LANNA, D. P. D.; ALMEIDA, R. Exigências nutricionais e melhoramento genético para eficiência alimentar: Experiências e lições para um projeto nacional. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE



- BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 41., 2004. Campo Grande. Anais... Campo grande: SBZ, 2004 p.248-259.
- LANNA, D. P. D.; CALEGARE, L.; ALMEIDA, R; BERNDT, A. Conversão alimentar- Eficiência econômica de vacas de corte de raças puras e cruzadas. In: SIMPÓSIO DE PECUÁRIA DE CORTE, 3., 2003, Lavras. Anais... Lavras: UFLA, 2003. p. 87-110. 19.
- LANNA, D. P.; ALMEIDA, R. Residual Feed Intake: um novo critério de seleção? In: V SIMPÓSIO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE MELHORAMENTO ANIMAL, 2004. Pirassununga. Anais... Pirassununga: SBMA, 2004b. p.248-259.
- LIMA, Natália Ludmila Lins; PEREIRA, Idalmo Garcia; RIBEIRO, Julimar Sacramento. Consumo alimentar residual como critério de seleção para eficiência alimentar. *Acta Veterinária Brasilica*, v. 7, n. 4, p. 255-260, 2013. Disponível em: <https://periodicos.ufersa.edu.br/acta/article/view/3269>. Acesso: 19/07/2022
- LIU, M. F.; GOONEWARDENE, L. A.; BAILEY, D. R. C.; et al. A study on the variation of feed efficiency in station tested beef bulls. *Canadian Journal of Animal Science*, v. 80, n. 3, p. 435-441, 2000.
- MACHADO, Renato Franco. PREPARAÇÃO DO REPRODUTOR PARA ESTAÇÃO DE MONTA NO SISTEMA DE MONTA NATURAL EM GADO DE CORTE. 2021. 53 f. TCC (Graduação) - Curso de Zootecnia, Puc - Goiás, Goiânia, 2021.
- MARINHO, Diego Barcelos. ESTIMATIVA DE CONSUMO ALIMENTAR RESIDUAL E CARACTERÍSTICAS DE COMPOSIÇÃO CORPORAL EM REPRODUTORES DA RAÇA ANGUS. 2019. 44 f. TCC (Graduação) - Curso de Agronomia, Zootecnia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.
- MELLO, Raquel R C. et al. Puberdade e maturidade sexual em touros bovinos. *Revista Acsa: AGROPECUÁRIA CIENTÍFICA NO SEMIÁRIDO*, Campina Grande, v. 10, n. 3, p. 11-28, jul - set. 2014. Trimestral. Disponível em: <file:///C:/Users/Milena/Downloads/571-2150-1-PB.pdf>. Acesso em: 04 maio de 2022.
- MORAES, GIOVANNA FARIA de et al. Genetic analysis of residual feed intake adjusted for fat and carcass and performance traits in a Nellore herd. *Ciência Rural* [online]. 2017, v. 47, n. 2 [Accessed 4 May 2022] , 20151505. Available from: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20151505>. Epub 12 Dec 2016. ISSN 1678-4596. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20151505>.
- MORAIS, Lorraine Cristina Oliveira de. CONSUMO ALIMENTAR RESIDUAL (CAR) E OUTRAS MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ALIMENTAR EM BOVINOS DE CORTE. 2011. 25 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós Graduação em Ciência Animal da Escola de Veterinária e Zootecnia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2011. Disponível em: https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/67/o/semi2011_Lorraine_Oliveira_1c.pdf. Acesso em: 2 nov. 2021.
- MORELLI, Marcela. EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DE ALIMENTOS EM MACHOS NELORES CLASSIFICADOS PARA CONSUMO ALIMENTAR RESIDUAL. 2015. 66 f. TCC (Doutorado) - Curso de Zootecnia, Pós-Graduação em Produção Animal Sustentável, Instituto de Zootecnia, Nova Odessa, 2015.
- NKRUMAH, J. D.; BASARAB, J. A.; PRICE, M. A. Different measures of energetic efficiency and their phenotypic relationships with growth, feed intake, and ultrasound and carcass merit in hybrid cattle. *Journal of Animal Science*, Champaign, v.82, p.2451-2459, 2004. 25.
- NKRUMAH, J. D.; OKINE, E. K.; MATHISON, G. W.; SCHMID, K.; BASARAB, J. A. Relationships of feedlot, feed efficiency, performance, and feeding behavior with metabolic rate, methane production, and energy partitioning in beef cattle. *Journal of Animal Science*, Champaign, v.84, p. 145-153, 2006.
- NKRUMAH, J. D.; CREWS JUNIOR, D.H.; BASARAB, J.A. Genetic and phenotypic relationships of feeding behavior and temperament with performance, feed efficiency, ultrasound, and carcass merit of beef cattle. *Journal of Animal Science*, Champaign, v.85, p.2382-2390, 2007.
- ORTIZ PEÑA, C.D.; QUEIROZ, S.A.; FRIES, L.A. Estimação de fatores de correção do perímetro escrotal para idade e peso corporal em touros jovens da raça Nelore. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.30, n.1, p.93-100, 2001.
- PEREIRA, Maurício Gomes; GALVÃO, Taís Freire. Heterogeneidade e viés de publicação em revisões sistemáticas. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, [S.L.], v. 23, n. 4, p. 775-778, dez. 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.5123/s1679-49742014000400021>
- QUIRINO, C.R.; BERGMANN, J.A. Herdabilidade do perímetro escrotal ajustado e não ajustado para peso corporal usando modelo animal uni e bivariado. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 34., 1997, Juiz de Fora. Anais... Viçosa: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 1997. p.127-129.



- ROSSI, G. F (2017) Parâmetros reprodutivos de machos da raça Nelore de baixa e alta eficiência alimentar suplementados com ácidos graxos protegidos em pastagem. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal.
- SILVA, A.E.D.F.; DODE, M.A.N.; UNANIAN, M.M. Capacidade reprodutiva do touro de corte: funções, anormalidades e outros fatores que a influenciam. Campo Grande: EMBRAPA-CNPGC, 1993. 128p. (EMBRAPA-CNPGC. Documentos, 51)
- SILVA, Antonio Emidio Dias Feliciano; UNANIAN, Maria Marina; CORDEIRO, Célia Maria Torres; FREITAS, Alfredo Ribeiro de. Relação da Circunferência Escrotal e Parâmetros da Qualidade do Sêmen em Touros da Raça Nelore, PO. Revista Brasileira de Zootecnia, [s. l], v. 3, n. 31, p. 1157-1165, fev. 2002. Semestral.
- SILVA, Carolina Silveira da. Relação entre medidas de eficiência alimentar com o desempenho reprodutivo e deposição de gordura em novilhas Brangus / Carolina Silveira da Silva. - 2019. 134 f. Orientador: José Fernando Piva Lobato. Coorientadora: Adriana Kroef Tarouco. Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Porto Alegre, BR-RS, 2019. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/196096/001095375.pdf?sequence=1>. Acesso: 01/04/2022.
- SIQUEIRA, J.B.; GUIMARÃES, J.D.; PINHO, R.O.. Relação entre perímetro escrotal e características produtivas e reprodutivas em bovinos de corte: uma revisão. Rev. Bras. Reprod. Anim., Belo Horizonte, v. 1, n. 37, p. 3-13, mar. 2013. Trimestral.
- SNELLING, W.; ROLFE, K.; NIELSEN, M.; FREETLY, H. Genetic and phenotypic parameter estimates for feed intake and other traits in growing beef cattle. Journal of Animal Science, Champaign, v.89, n.6, p. 1731-1741, 2011.
- VIECHTBAUER, W., & CHEUNG, M. W. (2010). Outlier and Influence Diagnostics for Meta-Analysis. Research Synthesis Methods, 1(2): 112–25.
- WANG, Z.; COLAZO, M. G.; BASARAB, J. A.; GOONEWARDENE, L. A.; AMBROSE, D. J.; MARQUES, E.; PLASTOW, G.; MILLER, S. P.; MOORE, S. S.. Impact of selection for residual feed intake on breeding soundness and reproductive performance of bulls on pasture-based multisite mating1. Journal Of Animal Science, [S.L.], v. 90, n. 9, p. 2963-2969, 1 set. 2012. Oxford University Press (OUP). <http://dx.doi.org/10.2527/jas.2011-4521>.
- WILLET EL AND OHMS JI 1957. Measurement of testicular size and its relation to production of spermatozoa by bulls. Journal of Dairy Science 40, 1559–1569.
- Nelsen TC, Long CR and Cartwright TC 1982. Post inflection growth in straight bred and crossbred cattle II: relationships among weight, height and pubertal characters. Journal of Animal Science 55, 293–304
-