

**FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**ESTUDOS MULTIVARIADOS EM RUMINANTES DO
EFEITO DA ENERGIA SOBRE A QUALIDADE DA CARNE
E DOS PARÂMETROS SANGUÍNEOS SOBRE O
CONSUMO ALIMENTAR RESIDUAL**

Antonio Ariclézio Carlos Cruz

Zootecnista

2022

**FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**ESTUDOS MULTIVARIADOS EM RUMINANTES DO
EFEITO DA ENERGIA SOBRE A QUALIDADE DA CARNE
E DOS PARÂMETROS SANGUÍNEOS SOBRE O
CONSUMO ALIMENTAR RESIDUAL**

Antonio Ariclézio Carlos Cruz

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Jane Maria Bertocco Ezequiel

Coorientador: Prof. Dr. Marco Tulio Costa Almeida

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

2022

C957e Cruz, Antonio Ariclézio Carlos
Estudos multivariados em ruminantes do efeito da energia sobre a
qualidade da carne e dos parâmetros sanguíneos sobre o consumo
alimentar residual / Antonio Ariclézio Carlos Cruz. -- Jaboticabal,
2022
93 p.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal
Orientadora: Jane Maria Bertocco Ezequiel
Coorientador: Marco Tulio Costa Almeida

1. Análise multivariada. 2. Nutrição animal. 3. Carne. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: ESTUDOS MULTIVARIADOS EM RUMINANTES DA INFLUÊNCIA DA ENERGIA SOBRE A QUALIDADE DA CARNE E DOS PARÂMETROS SANGUÍNEOS SOBRE O CONSUMO ALIMENTAR RESIDUAL

AUTOR: ANTONIO ARICLÉZIO CARLOS CRUZ

ORIENTADORA: JANE MARIA BERTOCCO EZEQUIEL

COORIENTADOR: MARCO TÚLIO COSTA ALMEIDA

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em ZOOTECNIA, pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. MARCO TÚLIO COSTA ALMEIDA (Participação Virtual)
Universidade Federal do Espírito Santo/UFES / Alegre/ES

Marco Túlio Costa Almeida

Pós-doutoranda JULIANA AKAMINE TORRECILHAS (Participação Virtual)
Departamento de Zootecnia / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Marco Túlio Costa Almeida

Prof.Dr. ROBERT EMILIO MORA LUNA (Participação Virtual)
Universidad Federal do Norte do Tocantins / Araguaína/TO

Marco Túlio Costa Almeida

Dra. YURY TATIANA GRANJA-SALCEDO (Participação Virtual)
Corporação Colombiana de Pesquisa Agropecuária / Medellín/Colômbia

Marco Túlio Costa Almeida

Profa. Dra. LAURA FRANCO PRADOS (Participação Virtual)
APTA / Colina/SP

Marco Túlio Costa Almeida

Jaboticabal, 06 de janeiro de 2022

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Antonio Ariclézio Carlos Cruz, filho de Conegundes da Conceição Cruz e Valdecir Carlos Cruz, nasceu em Piquet Carneiro/Ceará, ao dia 25 de janeiro de 1990. Ingressou no curso de Zootecnia no ano de 2010, na Universidade Federal Rural de Pernambuco (Unidade Acadêmica de Serra Talhada). De 2011 a 2012 foi bolsista de Iniciação Científica (PIBIC) pela mesma Universidade. No ano de 2013 transferiu seus estudos para a Universidade Federal do Ceará (UFC) - Campus Fortaleza, obtendo o título de Zootecnista ao concluir o curso ao final de 2015. Em março de 2016, iniciou o Mestrado em Zootecnia pela Universidade Federal Rural de Pernambuco, concentrando seus estudos na área de Nutrição Animal com ênfase em bovinos leiteiros, e ao dia 20 de fevereiro de 2018, submeteu-se a defesa da dissertação. Em 2018 iniciou o Curso de Doutorado na UNESP – Jaboticabal, e sob a orientação da Professora Dra. Maria Jane Bertocco Ezequiel propõe-se a finalizá-lo em 2022.

*“Tudo que a mente for capaz de conceber
e em que for capaz de acreditar,
ela pode conquistar.”*

Napoleon Hill

*A Deus,
pela fé
pelo dom da vida
por me fazer acreditar cada dia mais em suas obras
por me fazer sentir sua presença quando tudo parece não valer a pena
pelos caminhos que tem me permitido seguir, sempre me
assegurando de que ele é minha luz, meu guia,
meu amor, minha base...
...dedico*

*Ao meu pai Conegundes e a minha querida mãe, Valdinha.
Em especial à minha família que tem sido a base para
me fazer acreditar em
dias melhores...
...ofereço*

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida, pela sensação de tê-lo perto nos momentos que mais preciso e me sinto sem rumo.

Aos órgãos nacionais de fomento à pesquisa. Agradeço em especial a Unesp- Jaboticabal juntamente com o seu corpo docente.

A família que tem sido a base de tudo, mesmo na distância e com a qual compartilho todos os meus feitos, essa etapa é graças a vocês que está dando certo.

Aos professores que formaram os “degraus” para que eu chegasse a tal ponto, ao professor Marco Aurélio da graduação, à professora Sherlânea que fez parte do meu mestrado, meu muito obrigado. Um muito obrigado especial a professora Jane, que mesmo diante das impossibilidades, tem contribuído com o possível para a realização deste trabalho. Obrigado professora, que Deus a abençoe sempre.

Aos professores que colaboraram na qualificação para a melhoria deste estudo, professor Dr. Flávio Resende, Dra. Juliana Torrencilhas, Dr. Robert Moura, professora Dra. Hirasilva, e em especial ao professor Dr. Marco Tulio que se dispôs a me orientar e contribuir da melhor forma possível, um muito obrigado.

Obrigado ao povo da “resenha da pós” ... À Paulinha que sempre me convidava pra tomar café, e a Karine, claro, contribuía com o bolo, mas eu quem sempre fazia o café. Sem muitas delongas, obrigado aos companheiros e amigos dos churrascos e da “gela” aos finais de semana.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS	13
1. INTRODUÇÃO	13
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	14
2.1. Consumo Alimentar Residual em bovinos de corte	19
2.2. Base biológica da variação do CAR em bovinos de corte	20
2.3. Relação do CAR com os parâmetros sanguíneos em bovinos	22
2.4. Histórico da energia na nutrição de ruminantes	25
CAPÍTULO 2- PARÂMETROS SANGUÍNEOS ASSOCIADOS AO BAIXO CONSUMO ALIMENTAR RESIDUAL EM BOVINOS DE CORTE: META- ANÁLISE	37
1. INTRODUÇÃO	39
2. MATERIAL E MÉTODOS	40
2.1 Pesquisa dos artigos bases.....	40
2.2 .Critérios de seleção e inclusão	42
2.3 Análise estatística.....	42
3.RESULTADOS	43
4. DISCUSSÃO	50
3. REFERÊNCIAS	55
CAPÍTULO 3 - ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS DO EFEITO DA ENERGIA DA SDIETA SOBRE AS CARACTERÍSTICAS DE QUALIDADE DA CARÇA E DA CANE OVINA.....	74
1. INTRODUÇÃO	75
2. MATERIAL E MÉTODOS	76
2.1. Pesquisa dos dados base	76
2.2. Seleção dos artigos e critério de inclusão.....	80
2.3. Análise estática e transformação de dados.....	81
3. RESULTADOS	84
3.1. Desempenho animal e características da dieta	84
3.2. Análise de componentes principais	88
4. DISCUSSÃO	92
5. CONCLUSÃO.....	95

6. REFERÊNCIAS95

ESTUDOS MULTIVARIADOS EM RUMINANTES DO EFEITO DA ENERGIA SOBRE A QUALIDADE DA CARNE E DOS PARÂMETROS SANGUÍNEOS SOBRE O CONSUMO ALIMENTAR RESIDUAL

RESUMO: A eficiência alimentar em bovinos de corte se caracteriza como um importante campo investigativo da nutrição animal. Diversos métodos têm sido desenvolvidos ao longo dos anos buscando agilidade e redução de custos para identificar animais mais eficientes, porém os resultados têm sido inconsistentes. Adicionalmente, tem sido desenvolvido o interesse pelo conhecimento de como se dá o uso efeito dos constituintes dietéticos sobre a qualidade da carcaça e da carne ovina, mas ainda falta clareza para explicar a relação desses fatores. Com base nisso, foram desenvolvidos dois estudos. O primeiro estudo objetivou avaliar a associação dos parâmetros sanguíneos (constituintes hormonais, metabólicos e hematológicos) com o consumo alimentar residual em bovinos de corte por meio de uma abordagem meta-analítica, enquanto que o segundo estudo buscou avaliar a relação dos níveis de energia metabolizável com as características de carcaça e qualidade da carne ovina por meio de uma análise de componentes principais (ACP). No primeiro estudo foram utilizados um total de 16 artigos publicados. Os bovinos com baixo consumo alimentar residual (BCAR) apresentaram mais células vermelhas (desvio padrão da média; DPM = + 1,206), creatinina (DPM = +0,419) e hematócrito (DPM = + 0,863) no sangue quando comparados aos bovinos com alto consumo alimentar residual (ACAR). Os animais com BCAR apresentaram maior eficiência alimentar (ganho: consumo; DPM = + 0,867), menor consumo de matéria seca (DPM = -0,952 kg / d) e menor taxa de conversão alimentar (DPM = -0,368) do que animais com ACAR. Maiores níveis de creatinina, células vermelhas e hematócrito no sangue estão associados aos bovinos com baixo BCAR. No segundo estudo foram incluídas 121 médias oriundas de 23 artigos publicados. Foram utilizados como variáveis categóricas três níveis de energia metabolizável da dieta. As características de carcaça incluídas neste estudo foram comprimento de carcaça, perda por cozimento, área de olho de lombo, espessura de gordura subcutânea, rendimento de carcaça. As medidas utilizadas estudadas sobre a qualidade da carne foram as medidas de pH da carne mensurado 0,0h (pH0) e 24h pós-abate (pH24), matéria seca, extrato etéreo da carne e força de cisalhamento. Os dois primeiros componentes explicaram 81,51% da variância dos dados. As variáveis mais importantes no primeiro componente principal foram matéria seca da carne, perda por cozimento e peso corporal final, enquanto no segundo componente principal foram as variáveis rendimento de carcaça, extrato etéreo e força de cisalhamento. O baixo nível de energia foi negativamente associado as variáveis de peso corporal final e força de cisalhamento. O alto nível da energia apresentou relação positiva com o extrato etéreo da carne e perda por cozimento, mas negativa com a força de cisalhamento. Isso indica que o aumento de energia até 3,27 Mcal

de EM/kg de MS na dieta de ovinos aumenta a quantidade de extrato etéreo da carne e perda por cozimento. O aumento da energia da dieta elevar o teor de extrato etéreo na carne e reduz a força e isso implica em maior facilidade para quebra dos tecidos musculares. Estudos futuros podem utilizar dos achados desta ACP para melhor entendimento dos mecanismos que envolvem a energia da dieta e qualidade de carne e carcaça ovina.

Palavras-chave: creatinina, constituintes sanguíneos, eficiência alimentar, hematócrito, técnicas multivariadas

MULTIVARIATE STUDIES IN RUMINANTS OF THE EFFECT OF ENERGY ON MEAT QUALITY AND BLOOD PARAMETERS ON RESIDUAL FEED INTAKE

ABSTRACT: Feed efficiency in beef cattle is characterized as an important investigative field of animal nutrition. Several methods have been developed over the years seeking agility and cost reduction to identify more efficient animals, but the results have been inconsistent. Additionally, there is interest in the knowledge of how the use of dietary constituents on carcass and sheep meat quality has been developed, but there is still a lack of clarity to explain the relationship of these factors. Based on this, two studies were developed. The first study aimed to evaluate the association of blood parameters (hormonal, metabolic and hematological constituents) with residual feed intake in beef cattle through a meta-analytic approach, while the second study aimed to evaluate the relationship between metabolizable energy levels with carcass characteristics and sheep meat quality through a principal component analysis (PCA). In the first study, a total of 16 published articles were used. Both studies were carried out with the R program, version R-3.6.3. Beef cattle with low residual feed intake (LRFI) had more red blood cells (standard deviation of the mean; DPM = + 1.206), creatinine (DPM = +0.419) and hematocrit (DPM = + 0.863) in the blood when compared to beef cattle with high residual feed (HRFI). Animals with LRFI showed higher feed efficiency (gain: intake; DPM = + 0.867), lower dry matter intake (DPM = -0.952 kg / d) and lower feed conversion rate (DPM = -0.368) than animals with LRFI. Higher levels of creatinine, red blood cells and hematocrit in the blood are associated with cattle with low BCAR. In the second study, 121 means from 23 published articles were included. Three levels of metabolizable energy in the diet were used as categorical variables. The carcass traits included in this study were carcass length, cooking loss, loin eye area, back fat thickness, carcass yield. The measurements used to study meat quality were of the meat pH measured at 0.0h (pH0) and 24h post-slaughter (pH24), dry matter, meat, ether extract, and shear force. The first two components explained 81.51% of the data variance. The most important variables in the first principal component were meat dry matter, cooking loss and final body weight, while in the second principal component were the variables carcass yield, ether extract, and shear force. The low energy level was negatively associated with final body weight and shear force variables. The higher energy level showed a positive relationship with the ether extract of the meat and cooking loss, but a negative relationship with the shear force. This indicates the increasing energy up to 3.27 Mcal EM/kg DM in the sheep diet increases the amount of meat ether extract and cooking loss. The increase in dietary energy increases the content of ether extract in the meat and reduces strength and this implies greater ease for muscle tissue breakdown. Future studies may use the findings of this PCA to better understand the mechanisms that involve dietary energy and sheep meat and carcass quality.

Key-words: creatinine, blood constituents, feed efficiency, hematocrit, multivariate techniques

CAPÍTULO 1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

1. INTRODUÇÃO

Ainda que o Brasil seja um país de destaque mundial na produção bovina, é imprescindível que se busque aumento dos índices produtivos e rentabilidade da atividade com maior retorno econômico para o produtor (Almeida, 2005). Atualmente o país se destaca como o maior exportador mundial de carne bovina, quando em 2019 embarcou 1,87 milhões de toneladas da carne bovina e gerou uma receita de US\$ 7,59 bilhões, 15,50 % a mais que o ano anterior (ABIEC, 2021). Esse feito foi resultado de esforços técnicos e científicos com uso de diversos métodos estatísticos, que ao longo de décadas buscaram melhorar a eficiência na produção de bovinos de corte.

Nesse sentido, a produção animal tem exigido cada vez mais dos pesquisadores capacidade em elucidar melhor as interações múltiplas entre características biológicas, ambientais e intrínsecas do animal. Com isso, as técnicas multivariadas foram inseridas como ferramentas de estudos, por permitir melhor compreensão dos mecanismos que envolvem a produção animal. As técnicas de multivariadas são utilizadas em situações nas quais várias variáveis são medidas simultaneamente em cada unidade experimental, ou seja, permite resumir, analisar e interpretar dados amostrados de diferentes populações nas quais para cada unidade experimental são avaliadas diversas variáveis de respostas, contínuas ou não (Vicini, 2015). A utilização de técnicas multivariadas permite combinar as múltiplas informações contidas na unidade experimental (Cruz & Regazzi, 1994).

O uso atual do consumo alimentar residual (CAR) na seleção genética de bovinos de corte é devido algumas vantagens em relação ao uso da eficiência alimentar como medida seletiva. Resultante da diferença entre o consumo observado e o consumo estimado (Koch et al., 1963), o CAR tem sido utilizado devido à ausência de relações genéticas com requisitos de manutenção em bovinos adultos diferentemente da eficiência alimentar (Arthur et al., 2001; Herd et al., 2003).

A duração de teste de consumo alimentar residual em bovinos é cerca de 70 dias de confinamento, com isso há os custos com mão de obra e os custos com os alimentos para os animais. De modo a evitar esses gastos econômicos, ao invés da realização deste teste, sugere-se o uso dos parâmetros sanguíneos (e.g., creatinina, hematócrito, hemoglobina) para identificar os bovinos mais eficientes, uma vez que já são relatados na literatura diversas evidências associativas dos constituintes sanguíneos e bovinos com BCAR (Baldassini et al., 2018; Bonilha et al., 2015; Lawrence et al., 2012).

A associação dos parâmetros sanguíneos com animais de BCAR animal tem sido objeto de estudo devido alguns constituintes sanguíneos estão relacionados ao metabolismo energético em ruminantes. Nesse sentido, a hipótese do primeiro estudo é que os bovinos com BCAR apresentam diferença na constituição sanguínea quando comparados aos animais com ACAR.

Outros estudos relacionando os níveis de energia e características de carcaça e de carne ovina, por exemplo também são necessários para elucidar algumas associações até então não bem esclarecidas. Uma vez que a quantidade de energia utilizada na alimentação de ovinos deve ser de acordo com a categoria animal, idade, sistema de produção, ambiente e características intrínsecas do animal, estudar os níveis (EM/kg de MS) e sua relação com às características de carcaça e da carne ovina torna-se importante por permitir conhecer quais fatores (e.g., matéria seca da carne, força de cisalhamento, capaz capacidade, espessura de gordura subcutânea) estão mais associados ao baixo, médio ou alto nível de energia dietética. Desse modo, a hipótese do segundo estudo é que o maior nível de energia é mais relacionado a qualidade da carcaça, do que com as características da carne ovina.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Métodos multivariados em análises de experimentos com animais

Há relatos da utilização de técnicas multivariadas, mais especificamente da meta-análise, ainda no século XVII, na medicina humana (Egger and Smith, 1997). A análise de componentes principais (ACP), realiza análise exploratória de dados para o ajuste de planos em geometria espacial. A técnica consiste em, a partir de um determinado conjunto de dados relativos com p variáveis observadas, é resumido em um outro de k variáveis artificiais (esperando-se $k < p$) que explique a maior parte da variabilidade apresentada pelas variáveis originais (Hongyu et al., 2015). Já a meta-análise é uma técnica estatística utilizada na análise, síntese e integração de resultados de estudos individuais, com possibilidade de controle de tendenciamento dos resultados (Sousa and Ribeiro, 2009). Além disso, é considerada uma metodologia recente na produção animal, por meio da qual há possibilidade de identificar lacunas que ainda necessitam de estudos aprofundados e pode determinar o rumo de novos investimentos na pesquisa (Lovatto et al., 2007)

Como publicação científica, a primeira ACP foi realizada por Pearson (1901), posteriormente, o termo meta-análise foi utilizado pela primeira vez em um artigo “Primary, Secondary, and Meta-Analysis of Research” descrito por Glass (1976). Ultimamente várias pesquisas agropecuárias têm sido realizadas nos mais diversos temas, tais como nutrição e alimentação animal, fisiologia animal, melhoramento animal e vegetal, produção e tecnologia de alimentos, dentre outros, envolvendo técnicas multivariadas (Sartório, 2008).

Di Domenico (2014) utilizou a técnica de análise de componentes principais para avaliar a qualidade e segurança alimentar do milho em diferentes condições de armazenamento. Costa et al., (2021) utilizou de uma meta-análise para avaliar diferentes intensidade de pastejo como manejo estratégico na produção de bovino de corte, enquanto que Hernandez-Ramirez et al., (2021) estudou a influência do grau de compactação do solo sobre a alteração do fluxo de óxido nitroso

De acordo com Sartório (2008) o uso das técnicas multivariadas geralmente fica reservado aos centros de pesquisas e ambiente acadêmico. As principais dificuldades para usos dessas técnicas é o desconhecimento dos pesquisadores interessados na pesquisa quantitativa e a dificuldade e que a maioria dos softwares

que permite esse tipo de análise (SAS, MINITAB, S-PLUS, STATA etc), não são de domínio público (Castanheira, 2014).

2.2. Medidas de eficiência para bovinos de corte

Além da importância econômica, a produção de bovinos tem uma grande responsabilidade ambiental e social por alimentar uma população crescente, e ser umas das atividades mais importantes na emissão de gases de efeito estufa (FAO, 2010). Nesse sentido, vale ressaltar que a dieta tem influência direta sobre a emissão desses gases, de modo que quanto maior a digestibilidade da forragem, menor emissão por kg de matéria seca ingerida.

No ranking mundial de produção de carne bovina, os EUA lideram com 12.52 mil ton. Métricas, enquanto o Brasil vem logo após com 10.31 mil ton. Métricas (ABIEC, 2021). Porém, a produção nacional de bovinos tem sido mundialmente criticada por requerer áreas desmatadas em função da produção ser basicamente a pasto. Isso evidencia a necessidade de produzir carne oriunda de bovinos com alta eficiência alimentar, já que estes emitem menores quantidades de metano na atmosfera (Hegarty et al., 2007), além de exigir menor gasto com compra de insumos alimentares quando se trabalha em sistema de confinamento.

Nessa produção, a eficiência alimentar (ganho: consumo) ainda é um dos principais índices para dimensionar o quão eficiente é a atividade, visto que pode indicar o custo na alimentação por kg de carne produzida. Como já relatado em trabalhos prévios, a eficiência alimentar depende de fatores como ingestão de matéria seca, peso corporal, condições ambientais, estágio fisiológico, raças e fatores intrínsecos ao animal ligados a eficiência (i.e., taxa de digestão, eficiência, absorção de energia e proteína metabolizável), (NRC, 1996).

Ao longo dos anos, métodos para calcular a eficiência animal foram desenvolvidos, seja porque buscaram aumento na acurácia, ou pela necessidade em reduzir a mão de obra empregada na quantificação do consumo de matéria seca (CMS) em animais a pasto. Dentre esses métodos, alguns deles se destacaram, como o método de Kleiber (1936), que propôs uma maneira para mensurar a

eficiência sem a necessidade do CMS. O autor assumiu que o consumo de alimento apresentou relação direta com o peso metabólico ($PV^{0,75}$) e determinou uma taxa de ganho que seria a razão direta entre o ganho médio diário e o $PV^{0,75}$). Vale ressaltar que essa relação é direta se os mecanismos que controlam a ingestão de alimentos forem quimiostático, caso contrário, a melhor mensuração dá-se em função do peso corporal (i.e., % do peso corporal). O peso metabólico relaciona-se à massa corporal e considera o crescimento alométrico do animal, característica pela qual é possível comparar animais de idades diferentes, visto que animais menores produzem mais calor e consomem mais alimento (kg) por unidade de tamanho corporal do que animais maiores (Heady, 1975).

Um outro método para quantificar a eficiência alimentar já relatado em estudos prévios é o CAR, idealizado por Koch et al. (1963). Na época, o método não teve seus preceitos bem aceitos ou compreendidos pela maioria dos pesquisadores, sendo mais aceito a partir da década de 90 (Almeida, 2005).

O consumo alimentar residual é a diferença entre o consumo de matéria seca observado e o consumo de matéria seca estimado, com base no peso metabólico e GMD. O cálculo desse consumo estimado é baseado no seguinte modelo:

$$CMSES = \beta_0 + \beta_1 \text{GMD} + \beta_2 PV^{0,75} + \varepsilon$$

em que CMSES é o consumo de matéria seca estimado, β_0 é o intercepto, β_1 e β_2 são os coeficientes de regressão do ganho médio diário e consumo de matéria seca em função do peso metabólico, respectivamente, e ε , o resíduo do modelo.

Um outro método idealizado por Fitzhugh and Taylor, (1971), também se destacou quando usado para cálculo da eficiência alimentar, o chamado Taxa de crescimento relativo (TCR). Neste foi proposto que o grau de maturidade é a razão entre um peso qualquer e o peso à maturidade. A TCR é a razão da diferença do logaritmo do peso final e o peso inicial, dividida pelo número de dias entres essas duas pesagens (Grion, 2012). No entanto, essa taxa de crescimento varia de acordo com a idade do animal. Hoje é sabido que a seleção genética de bovinos de corte visa o crescimento adequado e reprodução ao peso ideal. O crescimento lento

resulta em prejuízos para o criador em função do retardamento do abate e da elevada idade a primeira parição, além dos longos intervalos entre partos (Perotto et al., 2006).

Uma vez que o crescimento é um processo integrado ao ganho de peso, no desenvolvimento dos bovinos, geralmente as pesagens seguem uma ordem cronológica, as chamadas idades padrão, sendo elas aos 120, 240, 365, 450 e 550 dias (Manuel et al., 2019), adotadas segundo princípios biológicos ou meramente cronológicos, servindo como ferramentas úteis na seleção genética.

As idades padrão foram adotadas seguindo os princípios de desenvolvimento do animal em função da curva de crescimento dos animal, fenômeno mencionado inicialmente por Fitzhugh e Taylor, (1971). Segundo os autores, o crescimento animal pode ser representado por meio de uma curva sigmóide que descreve uma sequência de medidas de tamanho em função do tempo. A curva sigmóide é composta por quatro fases principais (Figura 1): Na primeira fase, a taxa crescimento é elevada e positiva, e ocorre da concepção até a puberdade chegando ao máximo no ponto de inflexão da curva. Após a puberdade, tem início a fase de crescimento desacelerado, em que vários fatores inibem a taxa de crescimento, embora o animal não pare de crescer totalmente. Após essa fase, o animal atinge a maturidade fisiológica, e então chega ao platô da curva, sendo o crescimento muito lento ou praticamente inexistente, (Figura 1) (Owens et al., 1993).

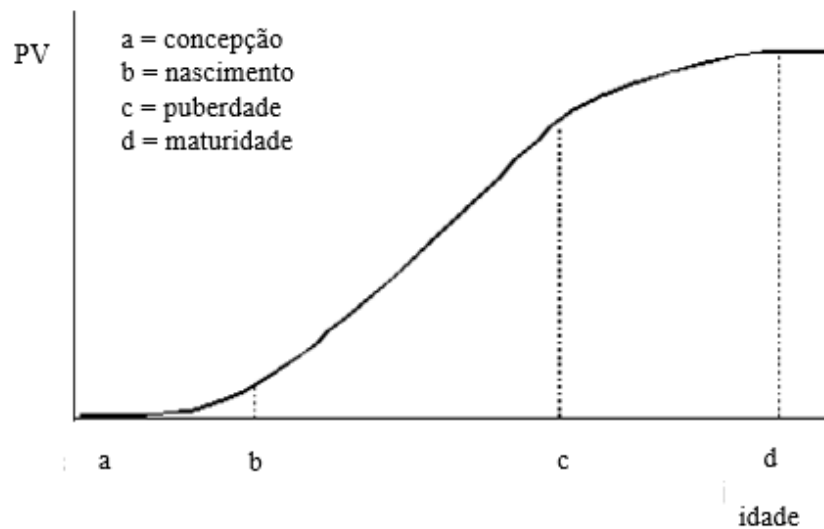


Figura 1. Curva sigmóide do crescimento animal

Fonte: Adaptado de Owens (1993)

2.1. Consumo Alimentar Residual em bovinos de corte

Os esforços da seleção genética são para selecionar animais com bons índices zootécnicos, ou seja, peso ideal ao nascimento e à desmama, e elevado ganho médio peso diário. Os custos alimentares são conhecidos por contribuir com a maior parcela dos gastos da pecuária, especialmente em sistemas de confinamento (Lancaster et al., 2009). Estes custos aliados aos índices reprodutivos ineficientes, sazonalidade na oferta de forragem, além de outros fatores na ordem de gestão, são determinantes para redução de maior lucratividade da produção de bovina.

Neste cenário que busca maior eficiência produtiva, ferramentas para mensurar a EA foram idealizadas com destaque para o CAR. Este é calculado através de equações de regressão com dados da própria ingestão de alimento (kg/d) (Arthur et al., 2001), e tem sido útil como índice de seleção (Gomes et al., 2011), pois independe geneticamente da taxa de crescimento e do tamanho corporal do animal (Koch et al., 1963). Animais com CAR negativo, apresentam consumo abaixo do estimado (mais eficientes), enquanto animais de CAR positivo consomem além do estimado (menos eficientes) (Herd & Arthur, 2009)..

O CAR tem herdabilidade moderada, e quando usado como índice de seleção, pode resultar numa progênie com mesmo nível de produção que os animais ineficientes, porém com menor consumo de matéria seca (Herd & Arthur, 2009). Atualmente, métodos de seleção baseados no CAR usam dos parâmetros genéticos (Abreu et al., 2019; Moraes et al., 2017; Santana et al., 2014), sanguíneos (Karisa et al., 2014; Nascimento et al., 2015; Stick et al., 1998), atividade do sistema calpastatina (Gomes et al., 2012) para selecionar os animais mais eficientes.

Estudos relacionando os parâmetros sanguíneos com o CAR em bovinos já foram relatados, porém ainda sem consenso comum nos resultados. Ao avaliar a relação dos parâmetros sanguíneos e o CAR de bovinos de corte, Nascimento et

al., (2015) observaram que animais mais eficientes apresentaram menor concentração de ureia no sangue, mas Cónsolo et al., (2018), relataram não haver qualquer diferença. Diante disso, se avaliarmos a relação dos parâmetros sanguíneos e o CAR de bovinos através de uma meta-análise, há maior possibilidade de se identificar associações muitas vezes não observadas ou que apresentam respostas contraditórias nos experimentos individuais.

2.2. Base biológica da variação do CAR em bovinos de corte

As variações no CAR (genética e fenotípica) em bovinos de corte são influenciadas por processos fisiológicos, genético e fatores ambientais (Herd & Arthur, 2009). Ainda de acordo com os autores, dentre os fisiológicos, destacam-se ingestão, digestão, metabolismo, atividade física e termorregulação. Ademais, a variação genotípica do CAR também pode estar associada ao comportamento do animal, características ruminais, metabolismo basal, hematologia, estado imunológico e composição corporal (Herd & Arthur, 2009). Embora ainda seja pouco evidenciado, parece que o CAR pós-desmame é geneticamente independente do peso da vaca adulta (Arthur & Herd, 2005; Herd & Bishop, 2000).

Os mecanismos que controlam o CAR em bovinos de corte parecem estar ligados a centenas de genes (Herd et al., 2004) e a outros processos diversos (Herd & Arthur, 2009; Richardson & Herd, 2004), como estresse, turnover proteico, metabolismo dos tecidos (37%), atividade de locomoção (10%), digestibilidade de alimentos (10%), incremento calórico (9%), composição corporal (5%) e padrões de alimentação (2%) (Richardson & Herd, 2004), Figura 1.

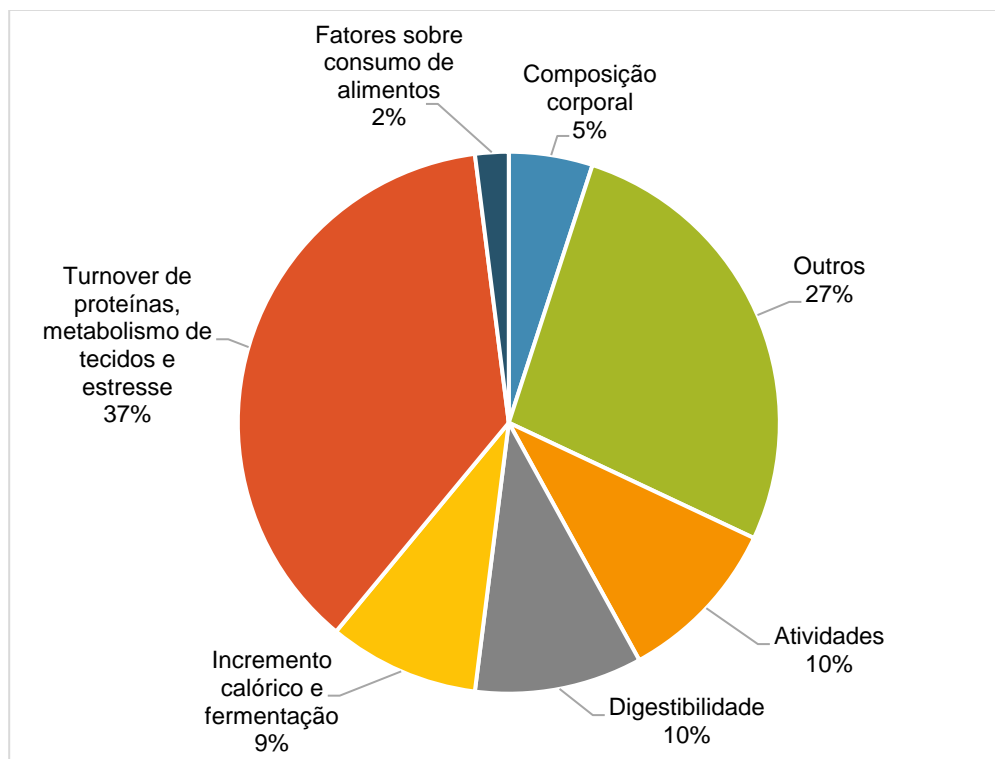


Figura 2. Percentual de contribuição dos diferentes componentes fisiológicos sobre a eficiência alimentar em bovinos de corte (adaptado de Richardson & Herd, 2004).

A eficiência alimentar em bovinos tem correlação positiva com a capacidade de transporte de oxigênio, que por sua vez é influenciada pela concentração sanguínea de Hb (Cônsole et al., 2018). Animais ineficientes, além de produzir mais calor (Montanholi et al., 2008), demandam maior quantidade de oxigênio e necessitam de maior concentração de Hb plasmática. Essa concentração depende do status nutricional e fisiológico do animal. Em bovinos a concentração de proteína plasmática varia de 11,03 - 11,96 % (Abud et al., 2016).

Investigações prévias relataram que a eficiência alimentar está muito ligada à função mitocondrial, mais precisamente com o transporte de oxigênio (Zulkifli et al., 2008). Possivelmente essa relação dá-se pelo fato da mitocôndria ser a principal organela relacionada ao metabolismo energético em animais de produção. Ela é responsável pelo processo de fosforilação oxidativa (síntese de ATP a partir da

energia liberada no transporte de elétrons) na cadeia respiratória de elétrons (Schertl & Braun, 2014).

Como a maioria dos componentes dessa cadeia são proteínas, durante o transporte de elétrons, essas proteínas alternam entre os estados reduzido e oxidado para que possam aceitar e doar elétrons, respectivamente; posteriormente esses elétrons são ligados ao oxigênio com consequente formação de água (Zulkifli et al., 2008). Nesse processo pode haver perda de elétrons e formação de oxigênio reativo (Zhao et al., 2019) como perda de energia do sistema. Essa perda de elétrons durante a fosforilação oxidativa parece estar mais associada aos animais ineficientes (i.e., animais ineficientes perdem mais elétrons nesse transporte). Ao avaliar o CAR de frangos de corte, Bottje et al., (2002) relataram que indivíduos ineficientes perdem mais elétrons na cadeia respiratória mitocondrial, liberam mais calor, produzem mais oxigênio reativo e menos quantidades de adenosina trifosfato (ATP).

Outros estudos reportaram que os processos biológicos associados à variação do CAR em bovinos de corte começam desde a captação da glicose na célula pela proteína da membrana, GLUT4 (Karisa et al., 2014). No entanto, esses autores sugeriram mais pesquisas para melhor explicar os mecanismos que envolvem a função mitocondrial em bovinos com baixo CAR.

2.3. Relação do CAR com os parâmetros sanguíneos em bovinos

A seleção genética é uma técnica conhecida por basear-se na expressão de genes para permitir a perpetuação de alguns animais em detrimento a outros, priorizando geralmente genes que afetam positivamente as características de interesse econômico. Embora essa seleção já seja consolidada na bovinocultura de corte, o uso de ferramentas de seleção genética mais ágeis, a exemplo da seleção associando o CAR com os parâmetros sanguíneos são encorajadas no âmbito do melhoramento genético. Essa associação tem sido investigada em função de alguns desses metabólitos (e.g., concentração de Hb e ureia) possibilitar identificar bovinos

de corte mais eficientes, como já relatados por Karisa et al., (2014), Kelly et al., (2010b, 2010a) e Nascimento et al., (2015).

Foi observado que há alta concentração de IGF-1 em animais com BCAR (Bourgon et al., 2017; Dudi & Datt, 2015), mas Zhang et al., (2017) não corroboraram com esse achado ao estudarem a concentração deste metabólito em ovinos. Adicionalmente, Nascimento et al., (2015) não observaram qualquer relação da concentração de ureia sanguínea com bovinos com baixo CAR, porém, reportaram menor concentração de alguma de IGF-1 em animais com BCAR. Nesse contexto, alguns estudos indicaram que os constituintes sanguíneos são os fatores que diferenciam o CAR em bovinos de corte, mas no geral não apresentaram consenso entre eles. Com o presente trabalho, são esperados melhores esclarecimentos em função do alto poder estatístico, característicos de estudos meta-analíticos.

2.4. Constituintes sanguíneos e suas funções em ruminantes

Os constituintes sanguíneos foram usados por Payne (1963) para diagnosticar doenças e desequilíbrios nutricionais em bovinos de corte. Em função da análise de sangue é possível conhecer o grau de adequação de alguns metabólitos nas principais vias metabólicas relacionadas com energia e proteína, bem como seu uso na funcionalidade de órgãos vitais para produção, como é o caso do fígado (Wittwer, 2000). Alguns desses constituintes estão mais relacionados ao metabolismo de energia a exemplo da glicose, beta-hidroxibutirato e ácidos graxos livres, enquanto que outros mais relacionados ao metabolismo proteico como albumina e ureia.

A avaliação inicial do metabolismo energético em bovinos faz referência a concentração de glicose no sangue, que em ruminantes geralmente se mantém muito constante independente de fatores Associados à dieta. Já os corpos cetônicos juntamente com beta-hidroxibutirato e acetoacetato são produtos fisiológicos do metabolismo de glicídios, lipídeos em ruminantes, muito relacionados ao escore

corporal do animal, importante índice em distúrbios metabólicos-nutricionais em vacas lactantes (Wittwer, 2000).

O ácido butírico da dieta é transformado no epitélio dos pré-estômagos, via acetoacetato, em β HB, sendo este o principal corpo cetônico do sangue do ruminante hígido (Gonzalez, 2018). O Beta hidroxibutirato pode ser oriundo tanto de ácidos graxos de cadeia curta quanto de cadeia longa. O ácido butírico da dieta é transformado via acetoacetato em beta-hidroxibutirato, principal corpo cetônico do sangue em ruminantes. De outro modo, os ácidos graxos de cadeia longa, produzidos na mobilização de reservas de gordura, são convertidos no fígado em acetoacetato e depois em β HB, o qual pode ser utilizado como fonte de energia e síntese de gordura no leite (Silveira et al., 2012). Animais que estão mobilizando reservas corporais quando a produção de corpos cetônicos é maior que a utilização pode ocorrer a cetose, devido à alta demanda de glicose para produzir lactose muito comum em vacas leiteiras de alta produção.

O perfil de proteínas no sangue está muito relacionado à dieta do animal. Os metabólitos mais utilizados para interpretação de perfil sanguíneo são a ureia Albumina hemoglobina (Contreras, 2000). A ureia é resultante da excreção do metabolismo de nitrogênio E sua determinação em amostras de soro sanguíneo juntamente com Albumina revelam sobre atividade metabólica proteica do animal (Wittwer, 2000). A concentração sanguínea de uréia está muito relacionada à dieta do animal. Em bovino 60 80% da proteína é transformado em amônia no rúmen e utilizado pelos microrganismos ruminais.

A albumina é sintetizada no fígado e se caracteriza como a proteína mais abundante no plasma sanguíneo, porém a sua concentração sanguínea depende predominantemente da capacidade do fígado em sintetizá-la. Já a hemoglobina é um pigmento transportador de oxigênio, constituída pela globina, um grupo heme e ferro (Mendes et al., 2005).

2.4. Histórico da energia na nutrição de ruminantes

O interesse em conhecer o efeito da energia dietética sobre o metabolismo animal não é recente. Ainda no século XVIII, Antoine Lavoisier começou as primeiras medições da respiração para cálculo do balanço de energia (Rosa, 2012). Porém a maioria dos estudos sobre energia na alimentação de ruminantes se deram após o desenvolvimento da bomba calorimétrica ainda no século XIX (Silva et al., 2018). As investigações clássicas se deram inicialmente em ratos (Kennedy & Mitra, 1963), posteriormente em ovinos (Blaxter et al., 1961; Wood & Capstick, 1926). Inicialmente, os estudos foram mais direcionados para animais não ruminantes devido a facilidade de condução, mas foi a partir da descoberta das técnicas de calorimetria direta e indireta por Brower (1965) que houve melhor compreensão das trocas gasosas e produção de calor no animal. A partir de então, as investigações se intensificaram e permitiram melhor entendimento dos mecanismos envolvidos na perda de calor corporal, incremento calórico, além da descoberta de metano nos gases da respiração (Resende et al., 2011). Isso promoveu melhores ajustes nas dietas para atender aos requerimentos nutricionais dos ruminantes.

Diante disso, os Sistemas de Recomendações Nutricionais (i.e., NRC, 1981; 1985, ARC, 1984, NRC, 2006 etc.) surgidos no século XX, começaram a recomendar níveis de energia na dieta, mesmo que o conhecimento dos processos envolvidos com energia ainda estivesse em construção. Assim surgiram as unidades de energia utilizadas até hoje, tais como o Joule, Cal, Mcal, Kcal e NDT.

Diante desses achados, houve melhor entendimento das partições da energia, denominadas como energia bruta, esta, correspondente à quantidade de calor da combustão de um alimento na bomba calorimétrica. Energia digestível, obtida da subtração da energia bruta do total de energia nas fezes, resultado do total de energia do alimento absorvido após o processo de digestão. Energia metabolizável, resultante da diferença entre energia digestível e energia contida na urina e os gases; e energia líquida, obtida da diferença entre a energia metabolizável e o total

da energia do incremento calórico (i.e., perdas devido a fermentação e digestão dos alimentos).

2.3. Análise de componentes principais, energia dietética e sua relação com carne e a carcaça ovina

A energia é o fator nutricional limitante mais comum em pequenos ruminantes (NRC, 2007). A deficiência de energia retarda o crescimento, reduz a produtividade e afeta negativamente a reprodução (Hosseini et al., 2008), e mais agravante quando é acompanhada por deficiências em proteínas, vitaminas e minerais (Abdullah et al., 2008; Lu & Potchoiba, 1990). O crescimento e desenvolvimento adequado dos cordeiros são nutricionalmente dependentes, e o aumento dos níveis de energia na dieta geralmente melhora o ganho médio diário e a eficiência alimentar dos ovinos (Ebrahimi et al., 2007; Hosseini et al., 2008; Song et al., 2017).

Parece bem estabelecida a relação da energia com algumas características de desempenho, a exemplo do maior ganho de peso diário em função do aumento do energia na dieta (Alves et al., 2003; Shirima et al., 2014; Wang et al., 2019). No entanto, falta consistência nos relatos da energia associada às características de carcaça e carne ovina. Jaborek et al., (2018) e Wang et al., (2020) reportaram que o alto nível de energia na dieta influenciou sobre o rendimento de carcaça, porém Mahgoub et al., (2000) e Garcia et al., (2003) não evidenciaram esse efeito. Em outro trabalho, essa relação foi investigada por meio de uma ACP, mas foi limitada aos animais de até 14,4 kg de peso corporal (Cañeque et al., 2004). Embora estes animais apresentem carnes com boa maciez devido ao baixo teor de colágeno (Weston et al., 2002; Woessner, 1961), investigações com animais acima desse peso também são requeridos já que no Brasil os ovinos são abatidos aos 30 kg.

Embora a gordura corporal de ovinos esteja associado a concentração de energia da dieta, o estudo de sua associação com outras características da carne e da carcaça torna-se importante por se importante por envolver diversos fatores que influenciam de modo simultâneos. A gordura intramuscular é influenciada por

diversos fatores (i.e., uma característica multifatorial), tais como o sexo, idade, nutrição e genética do animal (Cesar et al., 2015).

A gordura intramuscular é uma característica poligênica regulada por muitos genes envolvidos direta ou indiretamente na adipogênese e no metabolismo da gordura (Michal et al., 2006). Nos últimos anos houve maior interesse da medicina humana em estudar a quantidade de gordura de carnes em função da associação do consumo de carnes gordas e o desenvolvimento de doenças como as cardiovasculares, obesidade e câncer de colo (Salter, 2013). Assim, o entendimento dos efeitos da energia sobre a qualidade da carne é fator preponderante não só para incrementar o consumo de carne ovina, mas também para promover uma alimentação mais saudável.

Em estudos que envolvem muitos fatores atuantes sobre uma mesma característica, as técnicas multivariadas são as ferramentas mais indicadas (Calce et al., 2017), devido a limitação das técnicas univariadas. A ACP é uma técnica inferencial de análise exploratória de dados, usada para reduzir a dimensionalidade dos dados, melhorar a interpretação, e ao mesmo tempo minimizar a perda de informações (Jolliffe & Cadima, 2016).

A ACP agrupa os indivíduos de acordo com suas variâncias e suas características em função do comportamento de cada variável no conjunto de dados (Hongyu et al., 2015). Ainda de acordo com esses autores, o objetivo principal da ACP é explicar a estrutura da variância e covariância de um vetor aleatório por meio de combinações lineares das variáveis originais. Essas combinações lineares são chamadas de componentes principais e podem não estar correlacionados entre si (Jolliffe & Cadima, 2016).

Ainda que para fins inferenciais normalmente seja assumida a distribuição normal (distribuição Gaussiana) do conjunto de dados, a ACP é uma ferramenta descritiva não precisa, de suposições distributivas e, como tal, é muito mais um método exploratório adaptativo que pode ser usado em um determinado conjunto de dados numéricos (Jolliffe & Cadima, 2016). Uma ferramenta descritiva caracteriza-se pela aplicação estatísticas de várias técnicas para descrever e resumir um conjunto de dados, além de estudar o comportamento geral das

variáveis para facilitar a resolução de um determinado problema (Ali & Bhaskar, 2016).

REFERÊNCIAS

- Abdullah, A.Y., Awawdeh, F.T., Musallam, H.S., Titi, H.H., Obeidat, B.S., Kridli, R.T., Qudsieh, R.I., Abu Ishmais, M.A., 2008. Performance and carcass characteristics of intact and castrated male Black goat kids fed diets of various energy levels. *Aust. J. Exp. Agric.* 48, 1217. <https://doi.org/10.1071/EA07368>
- Abreu, L.R.A., Martins, P.G.M.A., Ribeiro, V.M.P., Gouveia, G.C., Moraes, G.F., 2019. Genetic association between residual feed intake and carcass traits in a herd of Nelore beef cattle. *Livest. Sci.* 225, 53–61. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2019.04.020>
- Abud, L.J., Oliveira Guimarães Abud, C., Lage Costa, G., Soares Fioravanti, M.C., Martins, C.F., McManus Pimentel, C.M., Bezerra Sereno, J.R., 2016. Perfil bioquímico e hematológico associados à ocorrência da gestação em novilhas nelore. *Acta Vet. Bras.* 10, 16. <https://doi.org/10.21708/avb.2016.10.1.5461>
- Agricultural Research Council - Arc. Report Of The Protein Group Of The Agricultural Research Council Working Party On The Nutrient Requirements Of Ruminants. The Nutrient Requirements Of Ruminant Livestock (Suppl. 1). Commonwealth Agricultural Bureaux, Farnham Royal, Uk. 1984.
- Ali, Z., Bhaskar, S., 2016. Basic statistical tools in research and data analysis. *Indian J. Anaesth.* 60, 662. <https://doi.org/10.4103/0019-5049.190623>
- Almeida, R. de, 2005. Consumo e eficiência alimentar de bovinos em crescimento. Esc. Super. Agric. Luiz Queiroz, Univ. São Paulo, Piracicaba, SP. Universidade de São Paulo, Piracicaba. <https://doi.org/10.11606/T.11.2005.tde-09112005-150314>
- Alves, K.S., Carvalho, F.F.R. de, Ferreira, M. de A., Vêras, A.S.C., Medeiros, A.N. de, Nascimento, J.F. do, Nascimento, L.R.S., Anjos, A.V.A. dos, 2003. Níveis de energia em dietas para ovinos Santa Inês: características de carcaça e constituintes corporais. *Rev. Bras. Zootec.* 32, 1927–1936. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982003000800017>
- Arthur, P.F., Archer, J.A., Johnston, D.J., Herd, R.M., Richardson, E.C., Parnell, P.F., 2001. Genetic and phenotypic variance and covariance components for feed intake, feed efficiency, and other postweaning traits in Angus cattle. *J. Anim. Sci.* 79, 2805. <https://doi.org/10.2527/2001.79112805x>
- Arthur, P.F., Herd, R.M., 2005. Efficiency of feed utilisation by livestock — Implications and benefits of genetic improvement. *Can. J. Anim. Sci.* 85, 281–290. <https://doi.org/10.4141/A04-062>

Associação Brasileira Das Industrias Exportadoras. Beef Report 2020 - ABIEC Disponível em:< **Erro! A referência de hiperlink não é válida.**> Acesso em 15/01/2022

Baldassini, W.A., Ramsey, J.J., Branco, R.H., Bonilha, S.F.M., Chiaratti, M.R., Chaves, A.S., Lanna, D.P.D., 2018. Estimated heat production, blood parameters and mitochondrial DNA copy number of Nellore bulls (*Bos indicus*) with high and low residual feed intake. *Livest. Sci.* 217, 140–147. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2018.10.004>

Blaxter, K.L., Wainman, F.W., Wilson, R.S., 1961. The regulation of food intake by sheep. *Anim. Prod.* 3, 51–61. <https://doi.org/10.1017/S0003356100033766>

Bonilha, S.F.M., Cyrillo, J.N. dos S.G., dos Santos, G.P., Branco, R.H., Ribeiro, E.G., Mercadante, M.E.Z., 2015. Feed efficiency, blood parameters, and ingestive behavior of young Nellore males and females. *Trop. Anim. Health Prod.* 47, 1381–1389. <https://doi.org/10.1007/s11250-015-0875-7>

Bottje, W., Iqbal, M., Tang, Z.X., Cawthon, D., Okimoto, R., Wing, T., Cooper, M., 2002. Association of mitochondrial function with feed efficiency within a single genetic line of male broilers. *Poult. Sci.* 81, 546–555. <https://doi.org/10.1093/ps/81.4.546>

Bourgon, S.L., Diel de Amorim, M., Miller, S.P., Montanholi, Y.R., 2017. Associations of blood parameters with age, feed efficiency and sampling routine in young beef bulls. *Livest. Sci.* 195, 27–37. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2016.11.003>

Brouwer, E. In *Energy Metabolism* p. 441. [K.L. Blaxter, editor]. London: Academic Press. 1965.

Castanheira, Marlos. Análise multivariada de características que influenciam a tolerância ao calor em equinos, ovinos e bovinos. Tese de Doutorado. Escola de Veterinária da Universidade Federal de Goiás, 2009.

Calce, S.E., Kurki, H.K., Weston, D.A., Gould, L., 2017. Principal component analysis in the evaluation of osteoarthritis. *Am. J. Phys. Anthropol.* 162, 476–490. <https://doi.org/10.1002/ajpa.23130>

Cañeque, V., Perez, C., Velasco, S., Díaz, M.T., Lauzurica, S., Álvarez, I., Ruiz de Huidobro, F., Onega, E., De la Fuente, J., 2004. Carcass and meat quality of light lambs using principal component analysis. *Meat Sci.* 67, 595–605. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2004.01.002>

Cesar, A.S.M., Regitano, L.C.A., Koltes, J.E., Fritz-Waters, E.R., Lanna, D.P.D., Gasparin, G., Mourão, G.B., Oliveira, P.S.N., Reecy, J.M., Coutinho, L.L., 2015. Putative Regulatory Factors Associated with Intramuscular Fat Content. *PLoS One* 10, e0128350. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0128350>

Cônsolo, N., Munro, J., Bourgon, S., Karrow, N., Fredeen, A., Martell, J., Montanholi, Y., 2018. Associations of Blood Analysis with Feed Efficiency and Developmental Stage in Grass-Fed Beef Heifers. *Animals* 8, 133.

<https://doi.org/10.3390/ani8080133>

- Costa, C.M., Difante, G.S., Costa, A.B.G., Gurgel, A.L.C., Ferreira Jr., M.A., Santos, G.T., 2021. Grazing intensity as a management strategy in tropical grasses for beef cattle production: a meta-analysis. *Animal* 15, 100192. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100192>
- Contreras, P.A. Indicadores do metabolismo proteico utilizados nos perfis metabólicos de rebanhos. In: González, F.H.D., Barcellos, J., Patiño, H.O. et al. (Eds). *Perfil metabólico em ruminantes: Seu uso em nutrição e doenças nutricionais*. Porto Alegre:UFRGS, 2000. p.23-30
- Cruz, C.D., Regazzi, A.J. *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. Viçosa, MG: UFV, 1994. 390 p.
- da Silva, G.S., Chaves Véras, A.S., de Andrade Ferreira, M., Moreira Dutra, W., Menezes Wanderley Neves, M.L., Oliveira Souza, E.J., Ramos de Carvalho, F.F., de Lima, D.M., 2015. Performance and carcass yield of crossbred dairy steers fed diets with different levels of concentrate. *Trop. Anim. Health Prod.* 47, 1307–1312. <https://doi.org/10.1007/s11250-015-0864-x>
- Dudi, K., Datt, C., 2015. Relationship of Residual Feed Intake With Blood Metabolites and Hormones in Sahiwal Female Calves. *Forage Res.*
- Di Domenico, Adriana Sbardelotto. *Qualidade e segurança alimentar do milho em diferentes acondicionamentos de armazenagem*. 2014. 139 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2014.
- Ebrahimi, R., Ahmadi, H.R., Zamiri, M.J., Rowghani, E., 2007. Effect of Energy and Protein Levels on Feedlot Performance and Carcass Characteristics of Mehraban Ram Lambs. *Pakistan J. Biol. Sci.* 10, 1679–1684. <https://doi.org/10.3923/pjbs.2007.1679.1684>
- Egger, M., Smith, G.D., 1997. Meta-analysis: Potentials and promise. *BMJ* 315, 1371–1374. <https://doi.org/10.1136/bmj.315.7119.1371>
- Organização para Agricultura e Alimentação - FAO Homepage da FAO. 2010. Disponível Em:<WwwwFao.Org>. Acesso em: 15/01/2022
- Fitzhugh, H.A., Taylor, S.C.S., 1971. Genetic Analysis of Degree of Maturity. *J. Anim. Sci.* 33, 717–725. <https://doi.org/10.2527/jas1971.334717x>
- Garcia, C.A., Costa, C., Monteiro, A.L.G., Neres, M.A., Rosa, G.J.M., 2003. Níveis de energia no desempenho e características da carcaça de cordeiros alimentados em creep feeding. *Rev. Bras. Zootec.* 32, 1371–1379. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982003000600012>
- Glass, G. V., 1976. Primary, Secondary, and Meta-Analysis of Research. *Educ. Res.* 5, 3. <https://doi.org/10.2307/1174772>
- Gomes, R. da C., Siqueira, R.F. de, Ballou, M.A., Stella, T.R., Leme, P.R., 2011.

- Hematological profile of beef cattle with divergent residual feed intake, following feed deprivation. *Pesqui. Agropecuária Bras.* 46, 1105–1111. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011000900019>
- Gomes, R.C., Sainz, R.D., Silva, S.L., César, M.C., Bonin, M.N., Leme, P.R., 2012. Feedlot performance, feed efficiency reranking, carcass traits, body composition, energy requirements, meat quality and calpain system activity in Nellore steers with low and high residual feed intake. *Livest. Sci.* 150, 265–273. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2012.09.012>
- GONZÁLEZ, FHD et al. Perfil metabólico em ruminantes: Seu uso em nutrição e doenças Nutricionais. 108 pages. Porto Alegre Editors, Brazil, 2000.
- Grion, A.L., 2012. Parâmetros genéticos de medidas indicadoras de eficiência alimentar de bovinos de corte. *Inst. Zootec. Programa Pós-Graduação Em Produção Anim. Sustentável.*
- Heady, H.F. Rangeland management. [USA]: McGraw-Hill Book Company, 1975.
- Hegarty, R.S., Goopy, J.P., Herd, R.M., McCorkell, B., 2007. Cattle selected for lower residual feed intake have reduced daily methane production^{1,2}. *J. Anim. Sci.* 85, 1479–1486. <https://doi.org/10.2527/jas.2006-236>
- Herd, R.M., Arthur, P.F., 2009. Physiological basis for residual feed intake¹. *J. Anim. Sci.* 87, E64–E71. <https://doi.org/10.2527/jas.2008-1345>
- Herd, R.M., Bishop, S.C., 2000. Genetic variation in residual feed intake and its association with other production traits in British Hereford cattle. *Livest. Prod. Sci.* 63, 111–119. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(99\)00122-0](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(99)00122-0)
- Herd, R.M., Oddy, V.H., Richardson, E.C., 2004. Biological basis for variation in residual feed intake in beef cattle. 1. Review of potential mechanisms. *Aust. J. Exp. Agric.* 44, 423. <https://doi.org/10.1071/EA02220>
- Hernandez-Ramirez, G., Ruser, R., Kim, D.-G., 2021. How does soil compaction alter nitrous oxide fluxes? A meta-analysis. *Soil Tillage Res.* 211, 105036. <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105036>
- Hongyu, K., Sandanielo, V.L.M., Oliveira-Jr, G.J., 2015. Análise de Componentes Principais: resumo teórico, aplicação e interpretação Principal Component Analysis: theory, interpretations and applications. *E&S - Eng. Sci.* 1, 83–90. <https://doi.org/10.18607/ES20165053>
- Hosseini, S.M., Akbary, S.M., Maheri-Sis, N., Aghsaghali, A.M., 2008. Effect of different energy levels of diet on feed efficiency, growth rate and carcass characteristics of fattening bahmaei lambs. *J. Anim. Vet. Adv.*
- Jaborek, J.R., Zerby, H.N., Moeller, S.J., Wick, M.P., Fluharty, F.L., Garza, H., Garcia, L.G., England, E.M., 2018. Effect of energy source and level, and animal age and sex on meat characteristics of sheep. *Small Rumin. Res.* 166, 53–60. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2018.07.005>

- Jolliffe, I.T., Cadima, J., 2016. Principal component analysis: a review and recent developments. *Philos. Trans. R. Soc. A Math. Phys. Eng. Sci.* 374, 20150202. <https://doi.org/10.1098/rsta.2015.0202>
- Karisa, B., Moore, S., Plastow, G., 2014. Analysis of biological networks and biological pathways associated with residual feed intake in beef cattle. *Anim. Sci. J.* 85, 374–387. <https://doi.org/10.1111/asj.12159>
- Karisa, B.K., Thomson, J., Wang, Z., Li, C., Montanholi, Y.R., Miller, S.P., Moore, S.S., Plastow, G.S., 2014. Plasma metabolites associated with residual feed intake and other productivity performance traits in beef cattle. *Livest. Sci.* 165, 200–211. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2014.03.002>
- Kelly, A.K., McGee, M., Crews, D.H., Fahey, A.G., Wylie, A.R., Kenny, D.A., 2010a. Effect of divergence in residual feed intake on feeding behavior, blood metabolic variables, and body composition traits in growing beef heifers¹. *J. Anim. Sci.* 88, 109–123. <https://doi.org/10.2527/jas.2009-2196>
- Kelly, A.K., McGee, M., Crews, D.H., Sweeney, T., Boland, T.M., Kenny, D.A., 2010b. Repeatability of feed efficiency, carcass ultrasound, feeding behavior, and blood metabolic variables in finishing heifers divergently selected for residual feed intake. *J. Anim. Sci.* <https://doi.org/10.2527/jas.2009-2700>
- Kennedy, G.C., Mitra, J., 1963. Hypothalamic control of energy balance and the reproductive cycle in the rat. *J. Physiol.* 166, 395–407. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1963.sp007111>
- Kleiber, M. 1936. Problems involved in breeding for efficiency of food utilization. *Proceedings of the American Society of Animal Production* 29: 247–258.
- Koch, R.M., Swiger, L.A., Chambers, D., Gregory, K.E., 1963. Efficiency of Feed Use in Beef Cattle. *J. Anim. Sci.* 22, 486–494. <https://doi.org/10.2527/jas1963.222486x>
- Lancaster, P.A., Carstens, G.E., Crews, D.H., Welsh, T.H., Forbes, T.D.A., Forrest, D.W., Tedeschi, L.O., Randel, R.D., Rouquette, F.M., 2009. Phenotypic and genetic relationships of residual feed intake with performance and ultrasound carcass traits in Brangus heifers¹. *J. Anim. Sci.* 87, 3887–3896. <https://doi.org/10.2527/jas.2009-2041>
- Lawrence, P., Kenny, D.A., Earley, B., McGee, M., 2012. Grazed grass herbage intake and performance of beef heifers with predetermined phenotypic residual feed intake classification. *Animal*. <https://doi.org/10.1017/S1751731112000559>
- Lovatto, P.A., Lehnen, C.R., Andretta, I., Carvalho, A.D., Hauschild, L., 2007. Meta-análise em pesquisas científicas: enfoque em metodologias. *Rev. Bras. Zootec.* 36, 285–294. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982007001000026>
- Lu, C.D., Potchoiba, M.J., 1990. Feed intake and weight gain of growing goats fed diets of various energy and protein levels. *J. Anim. Sci.* 68, 1751. <https://doi.org/10.2527/1990.6861751x>

- Mahgoub, O., Lu, C.D., Early, R.J., 2000. Effects of dietary energy density on feed intake, body weight gain and carcass chemical composition of Omani growing lambs. *Small Rumin. Res.* 37, 35–42. [https://doi.org/10.1016/S0921-4488\(99\)00132-7](https://doi.org/10.1016/S0921-4488(99)00132-7)
- Manuel, M., Cavani, L., Menezes, T.J., Millen, D.D., Andrighetto, C., Lupatini, G.C., Fonseca, R., 2019. Estimação de parâmetros genéticos para características de pesos e pesos metabólicos na desmama e pós-desmama em bovinos Brahman. *Arq. Bras. Med. Veterinária e Zootec.* 71, 274–280. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-9758>
- Mendes, A.R., Ezequiel, J.M.B., Galati, R.L., Feitosa, J.V., 2005. Desempenho, parâmetros plasmáticos e características de carcaça de novilhos alimentados com farelo de girassol e diferentes fontes energéticas, em confinamento. *Rev. Bras. Zootec.* 34, 692–702. <https://doi.org/10.1590/s1516-35982005000200039>
- Michal, J.J., Zhang, Z.W., Gaskins, C.T., Jiang, Z., 2006. The bovine fatty acid binding protein 4 gene is significantly associated with marbling and subcutaneous fat depth in Wagyu x Limousin F2 crosses. *Anim. Genet.* 37, 400–2. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2052.2006.01464.x>
- Montanholi, Y.R., Odongo, N.E., Swanson, K.C., Schenkel, F.S., McBride, B.W., Miller, S.P., 2008. Application of infrared thermography as an indicator of heat and methane production and its use in the study of skin temperature in response to physiological events in dairy cattle (*Bos taurus*). *J. Therm. Biol.* <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2008.09.001>
- Moraes, G.F., Abreu, L.R.A., Ferreira, I.C., Pereira, I.G., 2017. Análise genética do consumo alimentar residual ajustado para gordura e de características de carcaça e desempenho em um rebanho Nelore. *Cienc. Rural* 47. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20151505>
- National Research Council - NRC. Nutrient requirements of small ruminants. 2007, 362p
- National Research Council - NRC. Nutrient Requirements Of Small Ruminants. 2006, 362p
- National Research Council - Nrc. Nutrient Requirements Of Sheep. 6.Ed. Washington, D.C.: National Academy Press, 1985. 99p.
- National Research Council - Nrc. Subcommittee On Goat Nutrition. Nutrient Requirements Of Goats. Washington, D.C.: National Academy of Sciences, 1981. 91p.
- Nascimento, C.F., Branco, R.H., Bonilha, S.F.M., Cyrillo, J.N.S.G., Negrão, J.A., Mercadante, M.E.Z., 2015. Residual feed intake and blood variables in young Nelore cattle. *J. Anim. Sci.* 93, 1318–1326. <https://doi.org/10.2527/jas.2014-8368>
- Owens, F.N., Dubeski, P., Hanson, C.F., 1993. Factors that alter the growth and

- development of ruminants. *J. Anim. Sci.* 71, 3138–3150. <https://doi.org/10.2527/1993.71113138x>
- Payne, J. M., PAYNE, S. (1978). *The metabolic Profile Test*. Oxford University Press.
- Pearson, K., 1901. LIII. On lines and planes of closest fit to systems of points in space. *London, Edinburgh, Dublin Philos. Mag. J. Sci.* 2, 559–572. <https://doi.org/10.1080/14786440109462720>
- Perotto, D., Abrahão, J.J.D.S., Kroetz, I.A., 2006. Calving interval of Nellore, Guzerath x Nellore, Red Angus x Nellore, Marchigiana x Nellore and Simental x Nellore. *Rev. Bras. Zootec.* 35, 733–741. <https://doi.org/10.1590/s1516-35982006000300014>
- Resende, K.T., Teixeira, I.A.M.A., Fernandes, M.H.M.R., 2011. Metabolismo de energia., in: BERCHIELLI, T.T., PIRES, A.V., OLIVEIRA, S. (Eds.), *Nutrição de Ruminantes*. Funep, Jaboticabal, pp. 256–600.
- Richardson, E.C., Herd, R.M., 2004. Biological basis for variation in residual feed intake in beef cattle. 2. Synthesis of results following divergent selection. *Aust. J. Exp. Agric.* 44, 431. <https://doi.org/10.1071/EA02221>
- Rosa, C.A.P., 2012. *História da Ciencia - A Ciência Moderna*. Brasília: FUNAG, pp. 07–403.
- Sartorio, Simone Daniela. *Aplicações de técnicas de análise multivariada em experimentos agropecuários usando o software R*. 2008. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- Salter, A.M., 2013. Impact of consumption of animal products on cardiovascular disease, diabetes, and cancer in developed countries. *Anim. Front.* 3, 20–27. <https://doi.org/10.2527/af.2013-0004>
- Santana, M.H.A., Oliveira, G.A., Gomes, R.C., Silva, S.L., Leme, P.R., Stella, T.R., Mattos, E.C., Rossi, P., Baldi, F.S., Eler, J.P., Ferraz, J.B.S., 2014. Genetic parameter estimates for feed efficiency and dry matter intake and their association with growth and carcass traits in Nellore cattle. *Livest. Sci.* 167, 80–85. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2014.06.002>
- Schertl, P., Braun, H.P., 2014. Respiratory electron transfer pathways in plant mitochondria. *Front. Plant Sci.* <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00163>
- Shirima, E.J.M., Mtenga, L.A., Kimambo, A.E., Laswai, G.H., Mgheni, D.M., Mushi, D.E., Shija, D.S., Safari, J.G., 2014. Influence of age at entry and level of concentrate feeding on growth and carcass characteristics of feedlot-finished Tanzanian long-fat-tailed sheep. *Trop. Anim. Health Prod.* 46, 815–822. <https://doi.org/10.1007/s11250-014-0570-0>
- Silva, R.R., Borges, A.L.C.C., Carvalho, P.H.A., Souza, A.S., Vivenza, P.A. D., Silva, J.S. da, Lage, H.F., Ferreira, A.L., Gonçalves, L.C., Saliba, E.O.S., Borges, I., Campos, W.E., Rodriguez, N.M., 2018. *Respirometry and Ruminant Nutrition*, in: *Animal Husbandry and Nutrition*. InTech.

<https://doi.org/10.5772/intechopen.73009>

- Silveira, M.F., Restle, J., Menezes, L.F.G., Brondani, I.L., Nörnberg, J.L., Callegaro, A.M., 2012. Blood metabolites from beef cows supplemented or not with calcium salts of fatty acids during pre and / or postpartum period. *Arq. Bras. Med. Veterinária e Zootec.* 64, 1418–1426. <https://doi.org/10.1590/S0102-09352012000600003>
- Song, S.Z., Wu, J.P., Zhao, S.G., Casper, D.P., He, B., Liu, T., Lang, X., Gong, X.Y., Liu, L.S., 2017. The effect of energy restriction on fatty acid profiles of longissimus dorsi and tissue adipose depots in sheep1. *J. Anim. Sci.* 95, 3940–3948. <https://doi.org/10.2527/jas.2016.1235>
- Sousa, M.R. de, Ribeiro, A.L.P., 2009. Revisão sistemática e meta-análise de estudos de diagnóstico e prognóstico: um tutorial. *Arq. Bras. Cardiol.* 92, 241–251. <https://doi.org/10.1590/S0066-782X2009000300013>
- Stick, D.A., Davis, M.E., Loerch, S.C., Simmen, R.C., 1998. Relationship between blood serum insulin-like growth factor I concentration and postweaning feed efficiency of crossbred cattle at three levels of dietary intake. *J. Anim. Sci.* 76, 498. <https://doi.org/10.2527/1998.762498x>
- Vicini, L. Análise multivariada da teoria à prática (2005). 215 f. Monografia (Especialização) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
- Wang, Q., Wang, Y., Hussain, T., Dai, C., Li, J., Huang, P., Li, Y., Ding, X., Huang, J., Ji, F., Zhou, H., Yang, H., 2020a. Effects of dietary energy level on growth performance, blood parameters and meat quality in fattening male Hu lambs. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. (Berl.)* 104, 418–430. <https://doi.org/10.1111/jpn.13278>
- Wang, Q., Wang, Y., Hussain, T., Dai, C., Li, J., Huang, P., Li, Y., Ding, X., Huang, J., Ji, F., Zhou, H., Yang, H., 2020b. Effects of dietary energy level on growth performance, blood parameters and meat quality in fattening male Hu lambs. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. (Berl.)* 104, 418–430. <https://doi.org/10.1111/jpn.13278>
- Wang, X., Yan, S., Shi, B., Zhang, Y., Guo, X., 2019. Effects of concentrate supplementation on fatty acid composition and expression of lipogenic genes of meat and adipose tissues in grazing lambs. *Ital. J. Anim. Sci.* <https://doi.org/10.1080/1828051X.2018.1547666>
- Weston, A.R., Rogers, R.W., Althen, T.G., 2002. Review: The Role of Collagen in Meat Tenderness. *Prof. Anim. Sci.* 18, 107–111. [https://doi.org/10.15232/S1080-7446\(15\)31497-2](https://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)31497-2)
- Witter, F., Heuer, G. Contreras, P. A. Bohmwald, T. M. (1993). Valores bioquímicos clínicos sanguíneos de vacas cursando con decúbito en el sur de Chile. *Arch, Med. Vet.* 15, 83-88.
- Woessner, J.F., 1961. The determination of hydroxyproline in tissue and protein

- samples containing small proportions of this imino acid. *Arch. Biochem. Biophys.* 93, 440–447. [https://doi.org/10.1016/0003-9861\(61\)90291-0](https://doi.org/10.1016/0003-9861(61)90291-0)
- Wood, T.B., Capstick, J.W., 1926. The maintenance requirement of the adult sheep. *J. Agric. Sci.* 16, 325–333. <https://doi.org/10.1017/S002185960001830X>
- Zhang, X., Wang, W., Mo, F., La, Y., Li, C., Li, F., 2017. Association of residual feed intake with growth and slaughtering performance, blood metabolism, and body composition in growing lambs. *Sci. Rep.* 7, 12681. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-13042-7>
- Zhao, R., Jiang, S., Zhang, L., Yu, Z., 2019. Mitochondrial electron transport chain, ROS generation and uncoupling (Review). *Int. J. Mol. Med.* <https://doi.org/10.3892/ijmm.2019.4188>
- Zulkifli, N.A., Naik, M., Pitchford, W.S., Bottema, C.D.K., 2008. Cattle residual feed intake candidate genes. Roseworthy, Australia.

CAPÍTULO 2- PARÂMETROS SANGUÍNEOS ASSOCIADOS AO BAIXO CONSUMO ALIMENTAR RESIDUAL EM BOVINOS DE CORTE: META-ANÁLISE

Este capítulo corresponde ao conteúdo que foi submetido ao Journal Animal Feed Science and Technology, com exceção do idioma. O material suplementar pode ser consultado se solicitado ao autor principal.

Parâmetros sanguíneos associados ao baixo consumo alimentar residual em bovinos de corte: uma meta-análise

A. A. C. Cruz^a, M.T.C. Almeida^b, L.H.C. Batista^a, Y.T. Granja-Salcedo^c, J. M. B. Ezequiel^a

^a Departamento de Zootecnia, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, SP, 14884-900, Brasil; ^b Departamento de Zootecnia, Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, ES, 29500-000, Brasil; ^c Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, AGROSAVIA, CI El Nus, San Roque, Antioquía, Colômbia.

*Autor correspondente

E-mail: aricruzzoo18@gmail.com (A. A. C. Cruz)

Resumo: O objetivo deste trabalho foi avaliar quais parâmetros sanguíneos (constituintes hormonais, metabólicos e hematológicos) estão associados ao CAR em bovinos de corte por meio de uma abordagem meta-analítica. Para isso, um total de 16 artigos publicados, com 770 bovinos foram incluídos no presente estudo. O tamanho do efeito foi incluído pelo desvio padrão da média entre os grupos de animais com ACAR e BCAR usando um modelo de efeito aleatório. O peso de cada estudo foi estimado pelo inverso da variação. Nos animais com BCAR foram observadas mais células vermelhas (DPM = + 1.206), creatinina (DPM = +0,419) e percentual de hematócrito sanguíneo (DPM = + 0,863). Os animais com baixo consumo alimentar residual apresentaram maior eficiência alimentar (ganho: consumo; DPM = + 0,867), menor consumo de matéria seca (DPM = -0,952 kg / d), menor taxa de conversão alimentar (DPM = -0,368) do que animais com ACAR. Maiores níveis de creatinina, células vermelhas e hematócrito no sangue estão associados aos bovinos com BCAR. Esses constituintes podem ser úteis para identificar e selecionar os bovinos de corte mais eficientes.

Palavras-chave: creatinina, constituintes sanguíneos, hematócrito, eficiência alimentar, constituintes sanguíneos

1. INTRODUÇÃO

A eficiência alimentar e o CAR são indicadores da eficiência animal utilizados para mensuração dos custos alimentares (Jones et al., 2011). O CAR é definido como a diferença entre o consumo de matéria seca observado e o consumo de matéria seca estimado (Koch et al., 1963), um índice que independe fenotipicamente do peso corporal e do GMD, em que esse consumo estimado é calculado por análise de regressão baseada nas necessidades de manutenção do peso corporal e do GMD (Karisa et al., 2014). Animais com BCAR consomem menos (kg de MS/d) que os de ACAR, embora apresente o mesmo GMD. Quando usados para fins de seleção genética o CAR não é geneticamente correlacionado ao tamanho do animal (Karisa et al., 2014), enquanto que o uso da EA pode aumentar as necessidades nutricionais de bovinos adultos (Herd & Bishop, 2000). O método atual de seleção genética utilizados das expressões genéticas passadas entre duas gerações para identificar animais com ACAR e BCAR (Khansefid et al., 2017), porém é um método duradouro quando comparado ao tempo para a realização de uma análise sanguínea. Diante disso sugere-se o uso dos constituintes sanguíneos (i.e., hormonais, metabólicos e hematológicos) com o CAR pode ser útil para identificar mais rapidamente os animais com BCAR. Os constituintes sanguíneos são usados como indicadores do estado nutricional e do metabolismo energético (Agenas et al., 2006) além de alguns desses (a exemplo das células vermelhas e hematócritos) são importantes no transporte de oxigênio (O_2) para os tecidos periféricos.

Estudos anteriores já investigaram a associação dos parâmetros sanguíneos e o CAR em bovinos de corte (Abreu et al., 2019; da Silva et al., 2015; B. K. Karisa et al., 2014; G. F. de Moraes et al., 2017), mas sem consenso entre eles, com relatos contraditórios. Por exemplo, a concentração mais elevada de creatinina no sangue foi associada à novilhas com BCAR por Lawrence et al. (2012) enquanto Clare et al., (2018) e Santana et al., (2014) não corroboraram com este achado. Em outro estudo realizado por Baldassini et al., (2018) foi relatado que machos nelores com BCAR apresentaram menor porcentagem de hematócrito e Hb no sangue, no

entanto Lawrence et al. (2012) não observaram qualquer diferença nesses constituintes sanguíneos.

Dessa forma, por meio desta meta-análise é possível que haja melhor entendimento de quais parâmetros sanguíneos estão associados aos animais de BCAR, uma vez que investigações meta-analíticas têm maior poder estatístico do que estudos individuais (Cohn and Becker, 2003). Nesse sentido, a hipótese do presente trabalho é que os bovinos com BCAR apresentam diferença na constituição sanguínea quando comparados aos animais com ACAR.

O objetivo deste trabalho foi investigar, discutir e indicar quais parâmetros sanguíneos estão associados aos bovinos de corte com baixo consumo alimentar residual.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Pesquisa dos artigos bases

Os artigos incluídos neste estudo foram publicados em periódicos indexados, obtidos por meio de busca online nas plataformas: [Web of Science] <https://clarivate.com/webofsciencegroup/solutions/web-of-science/>; [PubMed] <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>; [Science Direct] <https://www.sciencedirect.com/search>; [Google Scholar] <https://scholar.google.com/search>; e [Journal of Animal Science] <https://academic.oup.com/jas>. Os termos usados na pesquisa online foram “residual feed intake” AND “blood parameters” AND “beef cattle”; “hematological profile” AND “residual feed intake” AND “beef cattle”. O termo “parâmetros sanguíneos” apresentado ao longo do texto neste estudo refere-se a variáveis metabólicas, hormonais e hematológicas.

Na pesquisa de dados, foram inclusos artigos publicados de 2002 a 2018, disponíveis apenas em idioma inglês. De modo a não promover tendência na seleção dos artigos, a elegibilidade dos artigos da base de dados foi realizada por dois autores e um total de 257 foram pré-selecionados. Após avaliação criteriosa de acordo com os critérios de inclusão pré-estabelecidos, apenas 16 artigos com 779

animais (material suplementar S1 disponível em (<https://doi.org/> /)) permaneceram no banco de dados (Figura 1).

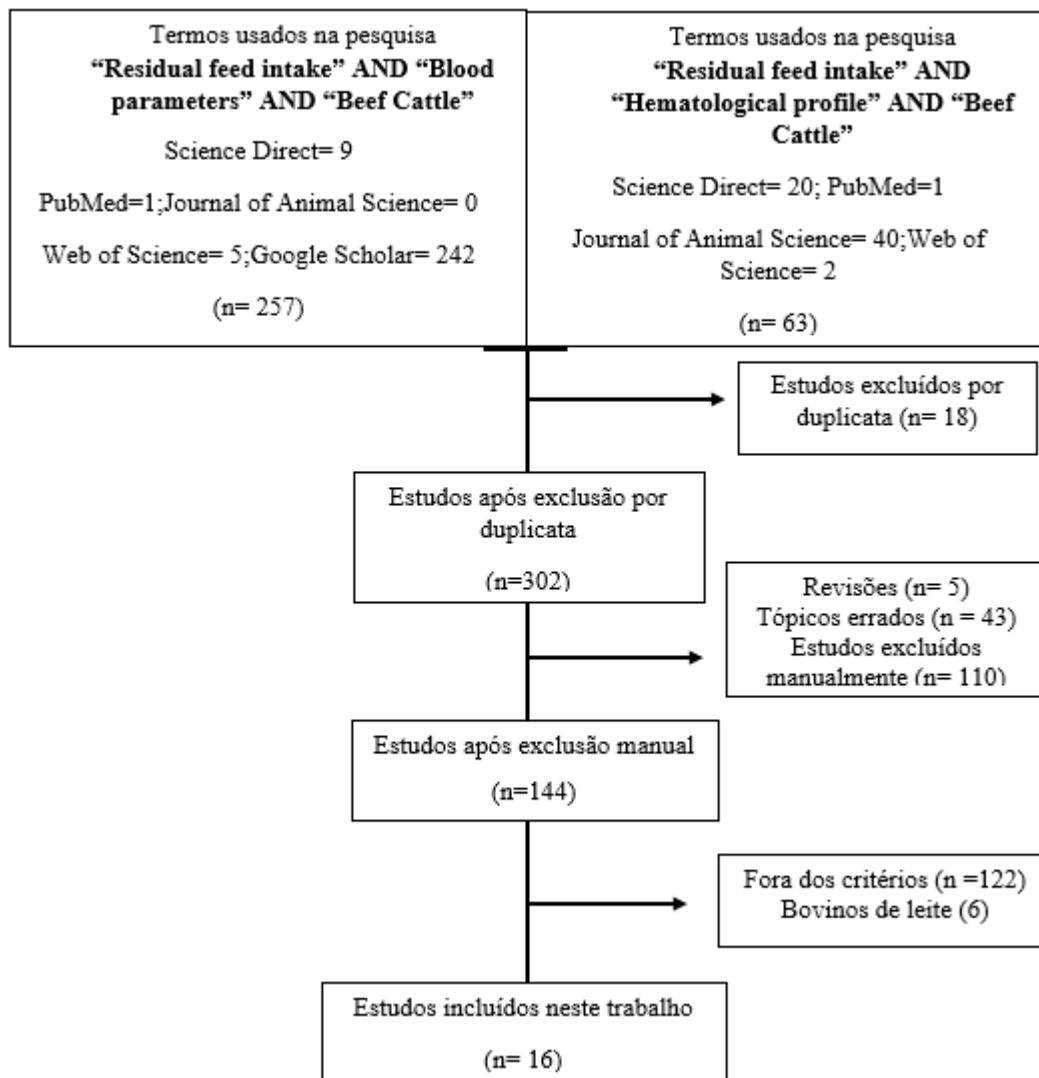


Figura 1. Diagrama descrevendo os critérios de inclusão do artigo de pesquisa usados nesta meta-análise.

O nível de concentrado usados nas dietas experimentais de até 86% foi predominante entre os artigos selecionados. As forrageiras mais utilizadas foram silagens de capim e milho, e representaram 35% e 29% das dietas experimentais, respectivamente. Os dois grupos genéticos predominantes entre os estudos bases

foram novilhas de corte mestiças e novilhos nelores, sendo 36% e 29% do total de animais estudado, respectivamente.

2.2. Critérios de seleção e inclusão

Os dados foram registrados em uma planilha do Excel de forma sistemática em que a linha representou um tratamento e cada coluna, uma variável (Sauvant et al., 2008). Os critérios de inclusão dos artigos foram: **1.** Que houvesse relato da composição da dieta. **2.** Que a média e uma medida de variância (i.e., média, desvio padrão da média ou erro padrão) para cada variável investigada fossem apresentadas; **3.** Que o número de animais usados no experimento de campo fosse relatado; **4.** Que houvessem nos artigos dados simultâneos de desempenho e dos parâmetros sanguíneos; **5.** Que o estudo fosse realizado com bovinos de corte; **6.** Que as fêmeas inclusas nos artigos base não estivessem em gestação ou lactação; **7:** Que o artigo não apresentasse a comparação exclusiva de machos versus fêmeas.

No presente trabalho foram incluídos apenas estudos com bovinos de corte. No final da elegibilidade, as variáveis com $n < 4$ foram excluídas do banco de dados. Nenhuma restrição foi imposta quanto a idade dos animais usadas nos experimentos, porém foram excluídos estudos com vacas gestantes e lactantes. Os dados analisados foram de dois grupos: animais com ACAR como o grupo controle, e os com BCAR como o grupo tratamento. Os bovinos de BCAR e ACAR foram considerados animais ineficientes e eficientes, respectivamente (Arthur and Herd, 2008).

2.3 Análise estatística

Esta meta-análise foi realizada por meio do programa R package Metafor (Viechtbauer, 2010) versão 3.4.3. Os fatores que associaram parâmetros sanguíneos e CAR em bovinos de corte foram avaliados pelo desvio padrão da média entre os grupos controle e tratamento. O tamanho do efeito do grupo tratamento foi calculado a partir da média ponderada do inverso das variâncias,

conforme proposto por (DerSimonian and Laird, 1986) para um modelo de efeito aleatório. A medida de variabilidade tem relação com o tamanho da amostra, de modo que quanto maior o tamanho da amostra, menor é a variabilidade estimada e, conseqüentemente maior o peso do estudo (Legramanti Rodrigues & Ziegelmann, 2010).

A variação total devido a variabilidade entre estudos foi verificada pelo teste do qui-quadrado (Q) e pela estatística I^2 (Higgins, 2003). Seguindo essa metodologia, os valores negativos de I^2 foram atribuídos como valor zero e $I^2 < 25$; 25 a 50 e > 50 foram considerados como baixa, média e alta heterogeneidade, respectivamente.

O viés de publicação foi avaliado por meio do gráfico de funnel plot (Light and Pillemer, 1985) através do método de regressão de Egger entre a diferença média bruta e o erro padrão da média (Egger et al., 1997). O forest plot foi usado para mostrar o peso de cada estudo e os intervalos de confiança que também sugerem a presença de outliers ou erros de tabulação que ocorrem durante a agregação de dados (ver material suplementar S3). A presença de outliers foi verificada pelo resíduo estudentizado, considerando um outlier quando este se apresentou fora da faixa de -2,5 a 2,5. No final da análise dos dados, os outliers foram novamente verificados e retirados da análise com a função "*find.outliers*" do programa R

O efeito do tratamento foi considerado significativo quando $P \leq 0,05$, e tendencioso quando $P \leq 0,1$. As medidas de variância dos estudos bases, quando necessário, foram transformadas em desvios padrão para que pudessem ser incluídas neste trabalho, conforme descrito por (Roman-Garcia and Firkins, 2016). Os que não apresentaram medidas de variância foram excluídos.

3.RESULTADOS

Nossos achados indicaram que os animais com BCAR apresentaram CMS inferior ao grupo com ACAR (DPM = -0,952 kg / d; $P < 0,001$), mas não houve diferença quanto ao GMD (ACAR=1,44 se comparados aos animais de BCAR=1,39). No entanto, os animais com BCAR apresentaram maior eficiência

alimentar (DPM = + 0,867; P = 0,002) e tendência de redução da conversão alimentar (consumo:ganho, DPM = -0,368; P = 0,055), (Tabela 2).

Os bovinos com BCAR apresentaram maior concentração sanguínea de creatinina (DPM = +0,419; P <0,001), hematócrito (% de hematócrito; DPM = +0,863; P <0,001) e número de células vermelhas (DPM = +1,206; P <0,001) do que os animais com ACAR (Tabela 3), corroborando com a nossa hipótese. Os eosinófilos foram um grupo de células que aumentaram nos animais com menor consumo alimentar residual (DMP= +0,430; P=0,047). Além disso, o grupo com BCAR apresentou tendência de aumento nas concentrações de linfócitos (DPM = + 0,180; P = 0,05). Houve alta heterogeneidade na eficiência alimentar ($I^2 = 66,2\%$), enquanto no CMS e hematócrito foram apenas observadas heterogeneidades moderadas, com $I^2 = 48,1\%$ e $I^2 = 43,8\%$, respectivamente.

Tabela 1. Descrição das variáveis, país, RTM, nível de concentrado, tipo de forragem, tipo genético e método de alimentação dos estudos utilizados nesta meta-análise.

Primeiro autor, ano	MS (g/kg de MS)		PB (g/kg de MS)		MO (g/kg de MS)		FDN (g/kg de MS)		EM, MJ/kg MS		Conc. ¹	Forragem	RTM	Tipo genético	Sexo
	ACAR	BCAR	ACAR	BCAR	ACAR	BCAR	ACAR	BCAR	ACAR	BCAR					
Kelly, 2010	580	580	182	182	927	927	357	357	11,09	11,09	700	Silagem de milho	Sim	Mestiças	Fêmeas
Kelly, 2011a	265	580	120	161	930	930	661	357	9,97	11,2	-	Silagem de milho e capim	Não	Mestiços	Machos
Kelly, 2017											-	Silagem de capim	Não	Simental	Fêmeas
Kelly, 2009	530	530	171	171	927	927	419	419	10,7	10,7	700	Silagem de milho	Não	Mestiças	Fêmeas
Kelly, 2011b											<i>ad libitum</i>	Feno de capim	Sim	Mestiços	Machos
Clare al, 2018											<i>ad libitum</i>	Silagem de capim	Não	Simental	Machos
Fitzsimons, 2013	270	270	135	135	918	918			11,16	11,16	-	Silagem de capim	Sim	Simental	Fêmeas
Fitzsimons, 2014											860	Silagem de capim	Sim	Simental	Machos
Richardson, 2002	890	890	143	143					10,75	10,75	700	Feno de capim	Sim	Mestiços	Machos
Richardson, 2004											-	-	Não	Mestiços	Machos
Kolath, 2006											-	-	Sim	Angus	Machos
Santana, 2014			152	152							500	Cana de açúcar e bagaço de cana	Sim	Nelores	Machos
Baldassini, 2018											650	Silagem de milho	Sim	Nelores	Machos

Bonilha, 2017	838	838	140	140		350	350			810	Cana de açúcar, feno de tifton	Sim	Nelores	Machos	
Nascimento, 2015	934	934			963	963	500	500	8,38	8,38	550	Feno de braquiária	Sim	Nelores	Ambos
Chaves, 2015			150	150					11,29	11,29	660	Silagem de milho	Sim	Nelores	Machos

¹ g / kg de MS; ACAR, alto consumo alimentar residual; BCAR, baixo consumo alimentar residual; CMS, consumo de matéria seca; PCI, peso corporal inicial; PCF, peso corporal final; CMSPC, consumo de matéria seca proporcional ao peso corporal; GMD, ganho media diário; CA, conversão alimentar; EA, eficiência alimentar; GLU, glicose; INS, insulina; HB, hemoglobina; URE, ureia; TRIG; triglicerídeos; CRE; creatinina; RAP, relação acetato propionato; PPT; proteína plasmática total; GB, globulina; ALB, albumina; IGF, IGF-1; BHB, beta hidroxibutirato; NEFA, ácido graxos não esterificados; GI, relação glicose: insulina; HEM, hematócrito; EOS, eosinófilos; BAS, basófilos; LIM, linfócitos; NEUT, neutrófilos; RTM, ração total mista.

Tabela 2. Dados de consumo de matéria seca e desempenho de animais com BCAR e ACAR. Diferenças médias brutas entre tratamento e controle são apresentadas em DPM. O I^2 representa a proporção da variação total das estimativas do tamanho do efeito que foi devido à heterogeneidade.

Itens	n	Média (ACAR)	Mínimo e máximo (ACAR)	Média (BCAR)	Mínimo e máximo (BCAR)	DPM (95%IC)		Heterogeneidade (DPM)		
						Efeito aleatório	P-valor	Qui quadrado	P-valor	I ² (%)
CMS kg/d	10	9.06(2.42)	6.41; 15.20	8,08(2,17)	5,74; 13,20	-0.92[-1.20; -0.70]	<0.001	15.34	0.082	41.30
GMD kg/d	18	1.44(0.46)	0.58; 1.83	1,39(0,49)	0,500; 1,91	0.03 [-0.12; 0.17]	0.733	12.34	0.779	0.00
EA*	5	0.12(0.02)	0.08; 0.16	0,14 (0,04)	0,08; 0,20	0.88 [0.30; 1.43]	0.003	11.85	0.019	66.20
CA*	4	8.33(1.90)	5.03; 9.40	6,65 (1,73)	4,04; 8,72	-0.37[-0.74;0.01]	0.055	7.03	0.071	7.30
PCI, kg	14	396.25(118.63)	194.00;663.00	386,56(118,86)	192,00;667,00	-0.04 [-0.19;0.12]	0.635	12.10	0.598	0.00
PCF, kg	16	482.90(121.24)	292,00;600,00	471,20(117,38)	299,00;690,00	299,00; 690,00	0.610	18.39	0.365	7.50

CMS= consumo de matéria seca; MC= média do tratamento controle; GMD= ganho médio diário; EA*= eficiência alimentar (kg ganho/kg consumido); CA*= conversão alimentar (kg CMS/kg ganho); res= peso corporal inicial; PCF= peso corporal final; DPM= desvio padrão da média.

Tabela 3. Perfil hematológico, hormonal e metabólico de bovinos com alto e baixo consumo alimentar residual

Variáveis metabólicas	n	Média (ACAR)	Mínimo e máximo (ACAR)	Média BCAR, DPM	Mínimo e máximo (BCAR)	DPM (95%CI)		Heterogeneidade (DPM)		
						Efeito aleatório	P-valor	Qui quadrado (Q)	P-valor	I ² (%)
Glicose (mmol/L)	12	4,74 (0,39)	4,08; 5,61	4,71(0,30)	4,05; 5,13	-0.11 [-0.33; 0.10]	0,299	15,62	0,209	23.20
Creatinina (umol/L)	7	156,00(26,51)	90,67; 174,40	163,54 (43,14)	92,03; 237,00	0.42 [0.17; 0.67]	< 0,001	4.80	0.570	0.00
Proteína total (g/L)		71,85 (4,91)	63,80; 75,40	71,95(4,26)	63,80; 72,90	-0.01 [-0.30; 0.27]	0,936	1,21	0,75	0.00
Globulina (g/L)	5	39,30 (1,04)	37,70; 40,60	39,70 (2,22)	35,30; 40,90	0.05 [-0.28; 0.37]	0,784	3,51	0,476	0.00
Albumina (g/L)	6	33.70 (3,94)	31.10; 42.05	33,10(4,56)	30,80; 42,91	-0.08 [-0.39; 0.22]	0,566	8,41	0,209	28.70
Triglicerídeos (mmol/L)	5	0,19 (0,06)	0,15; 0,30	0,26 (0,06)	0,16; 0,33	0.28 [-0.00; 0.55]	0,063	2,96	0,563	0.00
Ureia (mmol/L)	11	4,28 (1,20)	2,81; 5,91	4,50 (1,14)	2,63; 5,58	-0.12 [-0.34; 0.10]	0,301	15,37	0,662	0.00
Hematócrito (%)	7	23,60(7,19)	22,90; 38,33	24,50(7,37)	24,50; 44,00	0.83 [0.51; 1.14]	< 0,001	4.10	0,66	45.70
Hemoglobina (g/dL)	5	9,54 (2,17)	9,14; 13.30	9,81 (2,25)	9,60; 13,86	0.75 [0.39; 1.11]	< 0,001	0,44	0,979	0.00
NEFA (mmol/L)	8	0,19 (0,25)	0,06; 0,72	0,17 (0,30)	0,05; 0,78	-0.11 [-0.45; 0.22]	0,522	13,75	0,088	41.80
Glicose:insulina	4	0,34 (0,41)	0,22; 1,10	0,37 (0,32)	0,19; 0,93	-0.18 [-0.51; 0.14]	0,269	3,18	0,364	5.80
BHB (mmol/L)	7	0,20 (0,11)	0,18; 0,46	0,22 (0,09)	0,18;0,42	0.15 [-0.12; 0.44]	0,273	5,53	0,478	0.00
<i>Variáveis hematológicas</i>										
Células vermelhas (cells/uL)	8	6,13(1,115)	5,66; 8,51	6,55 (1,17)	6,41; 9,09	1.20 [0.90; 1.51]	< 0,001	5,32	0,621	0.00
Eosinófilos (cells/uL)	7	0,12 (0,09)	0,08; 0,36	0,19 (0,07)	0,06; 0,31	0.43 [0.00; 0.86]	0,047	5,52	0,237	27.60
Basófilos (cells/μL)	9	0,06 (0,02)	0,05; 0,10	0,06 (0,01)	0,04; 0,08	-0.15 [-0.39; 0.09]	0,232	3,53	0,939	0.00
Monócitos (cells/ml)	6	0,46 (0,11)	0,39; 0,69	0,50 (0,13)	0,38; 0,70	-0.02 [-0.48; 0.44]	0,925	17,93	0,012	61.00

Linfócitos ($\times 10^3$ cells/ μ L)	6	3,33 (0,21)	2,92; 3,51	3,35 (0,29)	3,08; 3,15	0.16 [-0.19; 0.53]	0,362	6,03	0,303	17.10
Neutrófilos ($\times 10^3$ cells/ μ L)	7	11,70 (1,05)	9,10; 12,20	11,70(1,41)	8,50; 12,90	-0.03[-0.28; 0.22]	0,816	12,32	0,195	26,9
Variáveis hormonais										
IGF-1 (ng/ml)	6	425,73 (101,96 288,70; 582,00	430,46(105,57)	277,80;573,00	-0.00 [-0.27; 0.27]	0,992	3,09	0,685	0.00	

Valores de referência de constituintes sangüíneos protéicos para bovinos, segundo Contreras, P. (2000). Hemoglobina (g/dL): 9,8 -13; Albuminas (g/L): 29 - 41; Globulinas (g/L): 28 – 52; Proteínas totais (g/L): 66 – 99; Ureia (mmol/L): 2,6 -7,0.

MC= média do grupo controle; BHB, beta hidroxibutirato; NEFA, ácido graxos não esterificados; DPM= desvio padrão da média; Foi considerado efeito do tratamento, quando o valor de p do DPM foi $p < 0,05$. * Variáveis que foram apresentadas em unidades diferentes nos artigos (e.g., mol/L ou mmol/L).

4. DISCUSSÃO

Compreender os mecanismos biológicos que controlam a eficiência alimentar é fundamental para a sustentabilidade ambiental e econômica dos sistemas de produção (Moore et al., 2009). A redução do CMS em termos práticos é importante por permitir economias consideráveis, uma vez que a dieta é um dos principais custos da produção de bovinos, principalmente na fase de terminação em confinamento (Lopes and Magalhães, 2005).

No entanto, o menor consumo de matéria seca no grupo BCAR não foi um fator limitante da melhoria do desempenho animal, uma vez que os animais com BCAR apresentaram melhor EA (DPM = + 0,867) e tenderam a melhorar a taxa de conversão alimentar (DPM = - 0,368) em relação ao grupo com ACAR.

O CAR e a EA são índices usados atualmente na pecuária para conhecer a eficiência produtiva do sistema. Embora o EA seja menos vantajosa do que o CAR se usada como índice na seleção de animais devido à sua associação com a taxa de crescimento (Herd and Bishop, 2000) e com o aumento das exigências nutricionais de bovinos na fase adulta (Nascimento et al., 2016), é um índice importante para acompanhar os custos alimentares. Uma melhoria de 10% na EA de bovinos confinados pode resultar em aumento de 43% nos lucros, enquanto que 10% de melhoria no GMD aumenta o lucro apenas em 18% (Fox et al. 2001). O GMD como medida isolada é pouco efetivo na melhoria da lucratividade, logo, para fins de cálculos econômicos, uma maior eficiência alimentar é mais vantajosa do que um GMD elevado.

Em termos práticos, a maior eficiência alimentar (ganho:consumo) como observada no presente estudo pode resultar em menor CMS e isso implica em melhor viabilidade econômica da produção. Corroborando com o aqui reportado, há relatos de diferença no CMS em bovinos nelores com BCAR e ACAR na ordem de 0,868 kg/d (Mercadante et al., 2015), e pode diferir em até 15% entre esses dois grupos (Fitzsimons et al., 2013).

As células vermelhas são responsáveis pelo transporte de O_2 dos pulmões para os tecidos periféricos por meio de seus principais constituintes (i.e., Hb e ferro) (Helms et al., 2018). Alterações na concentração de células vermelhas em animais de produção podem ser atribuídas a fatores como estresse, estado de hidratação, influências hormonais, dieta, adaptação ambiental, sexo, idade do animal (Borjesson et al., 2000), altitude e evolução da espécie (Minias, 2020). A maior concentração de células vermelhas observada no grupo com BCAR sugere uma alta quantidade de O_2 circulante, corroborando com os relatos de Fernandez et al., (2020) e Kolath et al., (2006) em estudos com novilhos angus de baixo e alto CAR, respectivamente. A taxa respiratória e capacidade de uso do oxigênio varia de acordo com a adaptabilidade da espécie a determinada altitude, de modo que em ambiente com pouco O_2 , há um aumento da concentração de células carreadoras de O_2 e aumento no fluxo sanguíneo para compensar a redução do oxigênio atmosférico (Winslow, 2007).

O O_2 corporal circulante está diretamente associado ao número de células especializadas no seu transporte, a exemplo da Hb e hematócrito, (Fernandez et al., 2020), e tem a mitocôndria como uma das principais organelas envolvidas no metabolismo do O_2 e ATP em organismos vertebrados (Alberts et al., 2008). Há maior respiração mitocondrial em bovinos de corte com BCAR (Casal et al., 2018; Kolath et al., 2006) e assim parece que a taxa de respiração nesses animais requer uma maior quantidade de O_2 do que os animais com ACAR. Em um estudo com ratos de alto e baixo consumo alimentar residual Darhan et al., (2019) reportaram que os indivíduos mais eficientes consumiram mais oxigênio que os ineficientes.

Essa alta demanda de O_2 ocorre durante a fosforilação oxidativa, fase final da respiração celular, e isso sugere que há uma redução na perda de elétrons, o que consequentemente reduz a perda de energia na cadeia de transporte de elétrons. Quanto maior a perda de elétrons, maior a ineficiência da mitocôndria. Esta pode ocorrer devido ao vazamento de elétrons da cadeia respiratória (Bottje et al., 2006). Assim, possivelmente este melhor aproveitamento do O_2 combinado com as reduzidas das perdas de elétrons podem ser as razões que caracterizam os animais com BCAR como indivíduos mais eficientes.

Nossos resultados revelaram que há alta concentração de creatinina em animais com BCAR corroborando com relatos prévios de Lawrence et al., (2012) e Richardson et al., (2004). A creatinina é uma substância nitrogenada não proteica derivada da conversão não enzimática da creatinina durante o metabolismo muscular e constitui cerca de 80% a 100% do material cromogênico sérico e plasmático e 30% a 50% dos glóbulos vermelhos (Koven and Beard, 1939). Ao que parece as maiores concentrações de células vermelhas e creatinina estão associadas. No entanto, essa possível associação ainda carece de melhores esclarecimentos.

A creatinina é o estoque de energia muscular após sua conversão em fosfocreatina (Istasse et al., 1990; Silva et al., 2012). Essa maior concentração de creatinina em animais com BCAR sugere ocorrer alguma diferença no metabolismo energético em animais com diferentes consumos alimentar residual. Bovinos de corte com BCAR podem atender às suas necessidades de manutenção com menor ingestão de energia do que os animais com ACAR (Herd et al., 2004), provavelmente devido à alta concentração de creatinina no organismo, mas esses mecanismos ainda não são bem compreendidos.

Em mamíferos, a Hb total está associada à concentração de potássio (Evans and Turner, 1965), taxa de respiração mitocondrial (Kolath et al., 2006), sexo, raça, estágio de vida, saúde e taxa de eritropoiese (Murphy, 2014) . A Hb é um componente do grupo de células vermelhas, então esperávamos elevação nas concentrações de ambos (i.e., da Hb e das células vermelhas) em animais com BCAR, mas isso não aconteceu.

Quando os níveis de células vermelhas atingem a concentração máxima (% de vermelhas no sangue), a produção de Hb é interrompida para manter a viscosidade e o fluxo ideal de sangue arterial constante para os tecidos do corpo (Crowell and Smith, 1967; Piety et al., 2017). Assim, parece que o aumento das células vermelhas não implica necessariamente em aumento da concentração de Hb. Provavelmente essa interrupção na produção da Hb pode ter sido o motivo pelo qual observamos apenas aumento na concentração de células vermelhas, mas não a concentração de Hb.

Tanto as células vermelhas quanto o hematócrito, foram associados positivamente à taxa de crescimento do animal em um estudo conduzido por Evans and Turner, (1965). A porcentagem do sangue composta por células vermelhas é semelhante ao percentual de hematócrito (Bolliger and Everds, 2012), corroborando com a semelhança nos comportamentos das concentrações desses constituintes no presente estudo.

A maior porcentagem de hematócrito nos bovinos com BCAR como observado no presente trabalho corrobora com prévios relatos de que a Hb desempenha importante função transportadora de O_2 no sangue (Alfaro et al., 2021; Gustin et al., 1997; Winslow, 2007). Desse modo, a atuação das células vermelhas juntamente hematócrito no transporte de O_2 , parece ser a hipótese mais provável, uma vez que observamos concentrações mais elevadas tanto de células vermelhas quanto de hematócrito nos animais BCAR. De acordo com Jones and Allison, (2007) esses dois constituintes estão envolvidos no transporte de O_2 .

Os eosinófilos são um grupo de células que fazem parte do sistema de defesa do animal. O aumento do número de eosinófilos ainda não foi evidenciado por outras pesquisas. Porém tem sido relatado que consumo alimentar baixo residual pode gerar algum estresse fisiológico (Kelly et al., 2017) e por conta disso achamos que certamente o indivíduo com maior quantidade de eosinófilos é o mais eficiente.

Nosso estudo sugere que os mecanismos de uso e transporte de O_2 no sangue e os relacionados ao metabolismo de energia parece ser os principais fatores que caracterizam os bovinos de corte com BCAR como animais mais eficientes quando comparados àqueles com ACAR.

A heterogeneidade em meta-análises, como a observada para o CMS e EA no presente trabalho, incluiu todas as diferenças entre os estudos individuais, relacionando entre outros fatores, o delineamento estatístico, populações, estratégias de tratamento e resultados dos estudos (Mueller et al., 2018), além dos fatores não controlados (erros aleatórios). A heterogeneidade é presente em estudos meta-analíticos, pois sempre existirá a variância entre os estudos (Melsen et al., 2014).

As fontes da heterogeneidade no presente trabalho foram avaliadas por meio de três subgrupos (Material em anexo). Esses foram: **1. Tipo genético:** “Bos taurus taurus vs Bos taurus indicus”; **2. Altitude do país onde ocorreu o experimento:** “acima de 400 m ou abaixo de 400 m” e **3. Regiões onde foram realizados os estudos:** “região europeia ou não europeia”. O n mínimo recomendado para realizar análises de subgrupos em estudos com meta-análise é $n > 20$ (Borenstein et al., 2009). Como o número total de artigos na base de dados foi de apenas 16, esse pode ter sido um dos motivos que nos limitou a elucidar melhor a heterogeneidade do CMS e da EA. Na pesquisa de artigos, outros trabalhos foram encontrados, mas devido aos critérios já descritos, não foram inclusos.

5. CONCLUSÃO

As altas concentrações de creatinina, células vermelhas e hematócrito são os parâmetros sanguíneos associados aos bovinos de corte com baixo alimentar residual.

Desse modo, esses constituintes podem ser úteis como ferramentas para identificar bovinos mais eficientes, no entanto, mais investigações são necessárias para validar melhor essas associações. Em termos práticos, a associação de metabólitos sanguíneos aos animais mais eficientes, isto é, com menor consumo residual pode servir como ferramenta para melhoria do plantel sem que haja necessidade de realização de experimentos ou mapeamento genético do rebanho.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Brasília, DF, BR) pelo apoio financeiro e à Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação da UNESP (Jaboticabal, SP, BR) pelas instalações. Além disso, um agradecimento especial a Thaise P. Melo por suas valiosas contribuições na análise de dados.

Suporte financeiro

Trabalho financiado pela CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior / Br) para realização do curso de doutorado do primeiro autor.

Material Suplementar

O material complementar associado a este artigo pode ser encontrado na versão online, (<https://doi.org/> /).

3. REFERÊNCIAS

- Abdullah, A.Y., Awawdeh, F.T., Musallam, H.S., Titi, H.H., Obeidat, B.S., Kridli, R.T., Qudsieh, R.I., Abu Ishmais, M.A., 2008. Performance and carcass characteristics of intact and castrated male Black goat kids fed diets of various energy levels. *Aust. J. Exp. Agric.* 48, 1217. <https://doi.org/10.1071/EA07368>
- Abreu, L.R.A., Martins, P.G.M.A., Ribeiro, V.M.P., Gouveia, G.C., Moraes, G.F., 2019. Genetic association between residual feed intake and carcass traits in a herd of Nellore beef cattle. *Livest. Sci.* 225, 53–61. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2019.04.020>
- Abud, L.J., Oliveira Guimarães Abud, C., Lage Costa, G., Soares Fioravanti, M.C., Martins, C.F., McManus Pimentel, C.M., Bezerra Sereno, J.R., 2016. Perfil bioquímico e hematológico associados à ocorrência da gestação em novilhas nelore. *Acta Vet. Bras.* 10, 16. <https://doi.org/10.21708/avb.2016.10.1.5461>
- Agenas, S., Heath, M.F., Nixon, R.M., Wilkinson, J.M., Philips, C.J.C., 2006. Indicators of undernutrition in cattle., *Animal Welfare. Univ Federation Animal Welfare.*
- Alberts, B., Johnson, A., Lewis, J., Morgan, D., Raff, M., Roberts, K., Walter, P., 2008. *Molecular Biology of the Cell*, 5th Edition, *Medicine & Science in Sports & Exercise.* <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e318185ce9d>

- Alfaro, G.F., Rodriguez-Zas, S.L., Southey, B.R., Muntifering, R.B., Rodning, S.P., Pacheco, W.J., Moisés, S.J., 2021. Complete Blood Count Analysis on Beef Cattle Exposed to Fescue Toxicity and Rumen-Protected Niacin Supplementation. *Animals* 11, 988. <https://doi.org/10.3390/ani11040988>
- Ali, Z., Bhaskar, S., 2016. Basic statistical tools in research and data analysis. *Indian J. Anaesth.* 60, 662. <https://doi.org/10.4103/0019-5049.190623>
- Allen, M.S., 2000. Effects of Diet on Short-Term Regulation of Feed Intake by Lactating Dairy Cattle. *J. Dairy Sci.* 83, 1598–1624. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(00\)75030-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(00)75030-2)
- Almeida, R. de, 2005. Consumo e eficiência alimentar de bovinos em crescimento. Esc. Super. Agric. Luiz Queiroz, Univ. São Paulo, Piracicaba, SP. Universidade de São Paulo, Piracicaba. <https://doi.org/10.11606/T.11.2005.tde-09112005-150314>
- Alves, K.S., Carvalho, F.F.R. de, Ferreira, M. de A., Vêras, A.S.C., Medeiros, A.N. de, Nascimento, J.F. do, Nascimento, L.R.S., Anjos, A.V.A. dos, 2003. Níveis de energia em dietas para ovinos Santa Inês: características de carcaça e constituintes corporais. *Rev. Bras. Zootec.* 32, 1927–1936. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982003000800017>
- Arboitte, M.Z., Restle, J., Alves Filho, D.C., Brondani, I.L., Pacheco, P.S., Menezes, L.F.G., Perottoni, J., 2004. Composição física da carcaça, qualidade da carne e conteúdo de colesterol no músculo Longissimus dorsi de novilhos 5/8 Nelore - 3/8 Charolês terminados em confinamento e abatidos em diferentes estádios de maturidade. *Rev. Bras. Zootec.* 33, 959–968. <https://doi.org/10.1590/s1516-35982004000400016>
- Arthur, P.F., Archer, J.A., Johnston, D.J., Herd, R.M., Richardson, E.C., Parnell, P.F., 2001. Genetic and phenotypic variance and covariance components for feed intake, feed efficiency, and other postweaning traits in Angus cattle. *J. Anim. Sci.* 79, 2805. <https://doi.org/10.2527/2001.79112805x>
- Arthur, P.F., Herd, R.M., 2005. Efficiency of feed utilisation by livestock —

- Implications and benefits of genetic improvement. *Can. J. Anim. Sci.* 85, 281–290. <https://doi.org/10.4141/A04-062>
- Assan, N., 2015. Assan, N. (2015). Some factors influencing dressing percentage in goat meat production. (*ISSN: 2322-2433*, *Scientific Journal of Review*, Volume 4, Issue 10, Pages 156-164). Review article Some factors influencing dressing percentage in goat meat. *Sci. J. Rev.* 4, 156–164. <https://doi.org/10.14196/sjr.v4i10.1940>
- Baldassini, W.A., Ramsey, J.J., Branco, R.H., Bonilha, S.F.M., Chiaratti, M.R., Chaves, A.S., Lanna, D.P.D., 2018. Estimated heat production, blood parameters and mitochondrial DNA copy number of Nellore bulls (*Bos indicus*) with high and low residual feed intake. *Livest. Sci.* 217, 140–147. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2018.10.004>
- Blaxter, K.L., Wainman, F.W., Wilson, R.S., 1961. The regulation of food intake by sheep. *Anim. Prod.* 3, 51–61. <https://doi.org/10.1017/S0003356100033766>
- Bolliger, A.P., Everds, N., 2012. Haematology of the Mouse, in: *The Laboratory Mouse*. Elsevier, pp. 331–347. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-382008-2.00014-3>
- Bonilha, S.F.M., Cyrillo, J.N. dos S.G., dos Santos, G.P., Branco, R.H., Ribeiro, E.G., Mercadante, M.E.Z., 2015. Feed efficiency, blood parameters, and ingestive behavior of young Nellore males and females. *Trop. Anim. Health Prod.* 47, 1381–1389. <https://doi.org/10.1007/s11250-015-0875-7>
- Borenstein, M., Hedges, L. V., Higgins, J.P.T., Rothstein, H., 2009. *Introduction to meta-analysis*. John Wiley & Sons.
- Borjesson, D.L., Christopher, M.M., Boyce, W.M., 2000. Biochemical and hematologic reference intervals for free-ranging desert bighorn sheep. *J. Wildl. Dis.* <https://doi.org/10.7589/0090-3558-36.2.294>
- Bottje, W., Iqbal, M., Tang, Z.X., Cawthon, D., Okimoto, R., Wing, T., Cooper, M., 2002. Association of mitochondrial function with feed efficiency within a single

- genetic line of male broilers. *Poult. Sci.* 81, 546–555.
<https://doi.org/10.1093/ps/81.4.546>
- Bottje, W., Pumford, N.R., Ojano-Dirain, C., Iqbal, M., Lassiter, K., 2006. Feed Efficiency and Mitochondrial Function. *Poult. Sci.* 85, 8–14.
<https://doi.org/10.1093/ps/85.1.8>
- Bourgon, S.L., Diel de Amorim, M., Miller, S.P., Montanholi, Y.R., 2017. Associations of blood parameters with age, feed efficiency and sampling routine in young beef bulls. *Livest. Sci.* 195, 27–37. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2016.11.003>
- Brand, T.S., Van Der Merwe, D.A., Swart, E., Hoffman, L.C., 2019. The effect of finishing period and dietary energy content on the carcass characteristics of Boer goats. *Small Rumin. Res.* 174, 110–117.
<https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2019.03.012>
- Calce, S.E., Kurki, H.K., Weston, D.A., Gould, L., 2017. Principal component analysis in the evaluation of osteoarthritis. *Am. J. Phys. Anthropol.* 162, 476–490. <https://doi.org/10.1002/ajpa.23130>
- Cañeque, V., Perez, C., Velasco, S., Díaz, M.T., Lauzurica, S., Álvarez, I., De la Fuente, J., 2004a. Carcass and meat quality of light lambs using principal component analysis. *Meat Sci.* 67, 595–605.
<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2004.01.002>
- Cañeque, V., Perez, C., Velasco, S., Díaz, M.T., Lauzurica, S., Álvarez, I., Ruiz de Huidobro, F., Onega, E., De la Fuente, J., 2004b. Carcass and meat quality of light lambs using principal component analysis. *Meat Sci.* 67, 595–605.
<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2004.01.002>
- Casal, A., Garcia-Roche, M., Navajas, E.A., Cassina, A., Carriquiry, M., 2018. Hepatic mitochondrial function in Hereford steers with divergent residual feed intake phenotypes. *J. Anim. Sci.* <https://doi.org/10.1093/jas/sky285>
- Cesar, A.S.M., Regitano, L.C.A., Koltjes, J.E., Fritz-Waters, E.R., Lanna, D.P.D., Gasparin, G., Mourão, G.B., Oliveira, P.S.N., Reecy, J.M., Coutinho, L.L., 2015.

Putative Regulatory Factors Associated with Intramuscular Fat Content. *PLoS One* 10, e0128350. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0128350>

Clare, M.K., Richard, P., Kate, K., Sinead, W., Mark, M.G., David, K., 2018. Residual feed intake phenotype and gender affect the expression of key genes of the lipogenesis pathway in subcutaneous adipose tissue of beef cattle. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* <https://doi.org/10.1186/s40104-018-0282-9>

Cohn, L.D., Becker, B.J., 2003. How meta-analysis increases statistical power. *Psychol. Methods* 8, 243–253. <https://doi.org/10.1037/1082-989X.8.3.243>

Cônsolo, N., Munro, J., Bourgon, S., Karrow, N., Fredeen, A., Martell, J., Montanholi, Y., 2018. Associations of Blood Analysis with Feed Efficiency and Developmental Stage in Grass-Fed Beef Heifers. *Animals* 8, 133. <https://doi.org/10.3390/ani8080133>

Corazzin, M., Del Bianco, S., Bovolenta, S., Piasentier, E., 2019. Carcass Characteristics and Meat Quality of Sheep and Goat, in: *More than Beef, Pork and Chicken – The Production, Processing, and Quality Traits of Other Sources of Meat for Human Diet*. Springer International Publishing, Cham, pp. 119–165. https://doi.org/10.1007/978-3-030-05484-7_6

Costa, E.C., Restle, J., Vaz, F.N., Celetino, D., Filho, A., Augusto, R., Carvalho B., L., Kuss, F., 2002. Características da Carcaça de Novilhos Red Angus Superprecoce Abatidos com Diferentes Pesos Carcass Traits of Young Red Angus Steers Slaughtered with Different Weights 31, 119–128.

Crowell, J.W., Smith, E.E., 1967. Determinant of the optimal hematocrit. *J. Appl. Physiol.* 22, 501–504. <https://doi.org/10.1152/jappl.1967.22.3.501>

da Silva, G.S., Chaves Vêras, A.S., de Andrade Ferreira, M., Moreira Dutra, W., Menezes Wanderley Neves, M.L., Oliveira Souza, E.J., Ramos de Carvalho, F.F., de Lima, D.M., 2015. Performance and carcass yield of crossbred dairy steers fed diets with different levels of concentrate. *Trop. Anim. Health Prod.* 47, 1307–1312. <https://doi.org/10.1007/s11250-015-0864-x>

- Darhan, H., Zoda, A., Kikusato, M., Toyomizu, M., Katoh, K., Roh, S. gun, Ogawa, S., Uemoto, Y., Satoh, M., Suzuki, K., 2019. Correlations between mitochondrial respiration activity and residual feed intake after divergent genetic selection for high- and low- oxygen consumption in mice. *Anim. Sci. J.* <https://doi.org/10.1111/asj.13210>
- DerSimonian, R., Laird, N., 1986. Meta-analysis in clinical trials. *Control. Clin. Trials* 7, 177–188. [https://doi.org/10.1016/0197-2456\(86\)90046-2](https://doi.org/10.1016/0197-2456(86)90046-2)
- Dudi, K., Datt, C., 2015. Relationship of Residual Feed Intake With Blood Metabolites and Hormones in Sahiwal Female Calves. *Forage Res.*
- Ebrahimi, R., Ahmadi, H.R., Zamiri, M.J., Rowghani, E., 2007. Effect of Energy and Protein Levels on Feedlot Performance and Carcass Characteristics of Mehraban Ram Lambs. *Pakistan J. Biol. Sci.* 10, 1679–1684. <https://doi.org/10.3923/pjbs.2007.1679.1684>
- Egger, M., Smith, G.D., Schneider, M., Minder, C., 1997. Bias in meta-analysis detected by a simple, graphical test. *Br. Med. J.* <https://doi.org/10.1136/bmj.315.7109.629>
- Evans, J. V., Turner, H.G., 1965. Interrelationships of Erythrocyte Characters and Other Characters of. *Aust. J. Biol. Sci.* 18, 124–139. <https://doi.org/10.1071/bi9650124>
- Fernandez, E.E., Oltjen, J.W., Sainz, R.D., 2020. Mitochondrial abundance and function in muscle from beef steers with divergent residual feed intakes. *Animal* 14, 560–565. <https://doi.org/10.1017/S1751731119002209>
- Fitzhugh, H.A., Taylor, S.C.S., 1971. Genetic Analysis of Degree of Maturity. *J. Anim. Sci.* 33, 717–725. <https://doi.org/10.2527/jas1971.334717x>
- Fitzsimons, C., Kenny, D.A., Deighton, M.H., Fahey, A.G., McGee, M., 2013. Methane emissions, body composition, and rumen fermentation traits of beef heifers differing in residual feed intake¹. *J. Anim. Sci.* 91, 5789–5800. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-6956>

- Fox, D.G., Tedeschi, L.O., Guioy, P.J., 2001. Determining Feed Intake and Feed Efficiency of Individual Cattle Fed in Groups, in: Beef Improvement Federation.
- Garcia, C.A., Costa, C., Monteiro, A.L.G., Neres, M.A., Rosa, G.J.M., 2003. Níveis de energia no desempenho e características da carcaça de cordeiros alimentados em creep feeding. *Rev. Bras. Zootec.* 32, 1371–1379. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982003000600012>
- Gentleman, R., Hornik, K., Parmigiani, G., 2011. *An Introduction to Applied Multivariate Analysis with R*-Springer-Verlag New York (2011).
- Gomes, R. da C., Siqueira, R.F. de, Ballou, M.A., Stella, T.R., Leme, P.R., 2011. Hematological profile of beef cattle with divergent residual feed intake, following feed deprivation. *Pesqui. Agropecuária Bras.* 46, 1105–1111. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011000900019>
- Gomes, R.C., Sainz, R.D., Silva, S.L., César, M.C., Bonin, M.N., Leme, P.R., 2012. Feedlot performance, feed efficiency reranking, carcass traits, body composition, energy requirements, meat quality and calpain system activity in Nellore steers with low and high residual feed intake. *Livest. Sci.* 150, 265–273. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2012.09.012>
- Grion, A.L., 2012. Parâmetros genéticos de medidas indicadoras de eficiência alimentar de bovinos de corte. *Inst. Zootec. Programa Pós-Graduação Em Produção Anim. Sustentável.*
- Guedes, D.G.P., Ribeiro, M.N., Carvalho, F.F.R. de, 2018. Multivariate techniques in the analysis of carcass traits of Morada Nova breed sheep. *Ciência Rural* 48. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20170746>
- Gustin, P., Detry, B., Robert, A., Cao, M.L., Lessire, F., Cambier, C., Katz, V., Ansay, M., Frans, A., Clerbaux, T., 1997. Influence of age and breed on the binding of oxygen to red blood cells of bovine calves. *J. Appl. Physiol.* 82, 784–790. <https://doi.org/10.1152/jappl.1997.82.3.784>
- Hegarty, R.S., Goopy, J.P., Herd, R.M., McCorkell, B., 2007. Cattle selected for

- lower residual feed intake have reduced daily methane production^{1,2}. *J. Anim. Sci.* 85, 1479–1486. <https://doi.org/10.2527/jas.2006-236>
- Helms, C.C., Gladwin, M.T., Kim-Shapiro, D.B., 2018. Erythrocytes and vascular function: Oxygen and nitric oxide. *Front. Physiol.* <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00125>
- Herd, R.M., Arthur, P.F., 2009. Physiological basis for residual feed intake¹. *J. Anim. Sci.* 87, E64–E71. <https://doi.org/10.2527/jas.2008-1345>
- Herd, R.M., Bishop, S.C., 2000. Genetic variation in residual feed intake and its association with other production traits in British Hereford cattle. *Livest. Prod. Sci.* 63, 111–119. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(99\)00122-0](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(99)00122-0)
- Herd, R.M., Oddy, V.H., Richardson, E.C., 2004. Biological basis for variation in residual feed intake in beef cattle. 1. Review of potential mechanisms. *Aust. J. Exp. Agric.* 44, 423. <https://doi.org/10.1071/EA02220>
- Higgins, J.P.T., 2003. Measuring inconsistency in meta-analyses. *BMJ* 327, 557–560. <https://doi.org/10.1136/bmj.327.7414.557>
- Hongyu, K., Sandanielo, V.L.M., Oliveira-Jr, G.J., 2015. Análise de Componentes Principais: resumo teórico, aplicação e interpretação Principal Component Analysis: theory, interpretations and applications. *E&S - Eng. Sci.* 1, 83–90. <https://doi.org/10.18607/ES20165053>
- Hosseini, S.M., Akbary, S.M., Maheri-Sis, N., Aghsaghali, A.M., 2008. Effect of different energy levels of diet on feed efficiency, growth rate and carcass characteristics of fattening bahmaei lambs. *J. Anim. Vet. Adv.*
- Istasse, L., Van Eenaeme, C., Gabriel, A., Clinquart, A., Maghuin-Rogister, G., Bienfait, J.M., 1990. The relationship between carcass characteristics, plasma hormones and metabolites in young fattening bulls. *Vet. Res. Commun.* <https://doi.org/10.1007/BF00346379>
- Jaborek, J.R., Zerby, H.N., Moeller, S.J., Wick, M.P., Fluharty, F.L., Garza, H., Garcia, L.G., England, E.M., 2018. Effect of energy source and level, and animal

- age and sex on meat characteristics of sheep. *Small Rumin. Res.* 166, 53–60. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2018.07.005>
- Jolliffe, I.T., Cadima, J., 2016. Principal component analysis: a review and recent developments. *Philos. Trans. R. Soc. A Math. Phys. Eng. Sci.* 374, 20150202. <https://doi.org/10.1098/rsta.2015.0202>
- Jones, F.M., Phillips, F.A., Naylor, T., Mercer, N.B., 2011. Methane emissions from grazing Angus beef cows selected for divergent residual feed intake. *Anim. Feed Sci. Technol.* <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.020>
- Jones, M.L., Allison, R.W., 2007. Evaluation of the Ruminant Complete Blood Cell Count. *Vet. Clin. North Am. - Food Anim. Pract.* 23, 377–402. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2007.07.002>
- Josse, J., Husson, F., 2016. missMDA: A package for handling missing values in multivariate data analysis. *J. Stat. Softw.* <https://doi.org/10.18637/jss.v070.i01>
- Josse, J., Husson, F., 2012. Handling missing values in exploratory multivariate data analysis methods. *J. la Société Française Stat.* 17, 1–22.
- Karisa, B., Moore, S., Plastow, G., 2014. Analysis of biological networks and biological pathways associated with residual feed intake in beef cattle. *Anim. Sci. J.* 85, 374–387. <https://doi.org/10.1111/asj.12159>
- Karisa, B.K., Thomson, J., Wang, Z., Li, C., Montanholi, Y.R., Miller, S.P., Moore, S.S., Plastow, G.S., 2014. Plasma metabolites associated with residual feed intake and other productivity performance traits in beef cattle. *Livest. Sci.* 165, 200–211. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2014.03.002>
- Kelly, A.K., McGee, M., Crews, D.H., Fahey, A.G., Wylie, A.R., Kenny, D.A., 2010a. Effect of divergence in residual feed intake on feeding behavior, blood metabolic variables, and body composition traits in growing beef heifers¹. *J. Anim. Sci.* 88, 109–123. <https://doi.org/10.2527/jas.2009-2196>
- Kelly, A.K., McGee, M., Crews, D.H., Sweeney, T., Boland, T.M., Kenny, D.A., 2010b. Repeatability of feed efficiency, carcass ultrasound, feeding behavior,

and blood metabolic variables in finishing heifers divergently selected for residual feed intake. *J. Anim. Sci.* <https://doi.org/10.2527/jas.2009-2700>

Kennedy, G.C., Mitra, J., 1963. Hypothalamic control of energy balance and the reproductive cycle in the rat. *J. Physiol.* 166, 395–407. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1963.sp007111>

Khansefid, M., Millen, C.A., Chen, Y., Pryce, J.E., Chamberlain, A.J., Vander Jagt, C.J., Gondro, C., Goddard, M.E., 2017. Gene expression analysis of blood, liver, and muscle in cattle divergently selected for high and low residual feed intake1. *J. Anim. Sci.* 95, 4764–4775. <https://doi.org/10.2527/jas2016.1320>

Koch, R.M., Swiger, L.A., Chambers, D., Gregory, K.E., 1963. Efficiency of Feed Use in Beef Cattle. *J. Anim. Sci.* 22, 486–494. <https://doi.org/10.2527/jas1963.222486x>

Kolath, W.H., Kerley, M.S., Golden, J.W., Keisler, D.H., 2006. The relationship between mitochondrial function and residual feed intake in Angus steers. *J. Anim. Sci.* <https://doi.org/10.2527/2006.844861x>

Kotsampasi, Bampidis, V.A., Tsiaousi, A., Christodoulou, C., Petrotos, K., Amvrosiadis, I., Fragioudakis, N., Christodoulou, V., 2017. Effects of dietary partly destoned exhausted olive cake supplementation on performance, carcass characteristics and meat quality of growing lambs. *Small Rumin. Res.* <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2017.08.013>

Koven, A.L., Beard, H.H., 1939. Creatine-creatinine metabolism and the hormones II. Progesterin and antuitrin-t. *Endocrinology.* <https://doi.org/10.1210/endo-25-2-221>

Kumar, S., Choudhury, P.K., Carro, M.D., Griffith, G.W., Dagar, S.S., Puniya, M., Calabro, S., Ravella, S.R., Dhewa, T., Upadhyay, R.C., Sirohi, S.K., Kundu, S.S., Wanapat, M., Puniya, A.K., 2014. New aspects and strategies for methane mitigation from ruminants. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 98, 31–44. <https://doi.org/10.1007/s00253-013-5365-0>

- Lawrence, P., Kenny, D.A., Earley, B., McGee, M., 2012. Grazed grass herbage intake and performance of beef heifers with predetermined phenotypic residual feed intake classification. *Animal*. <https://doi.org/10.1017/S1751731112000559>
- Legramanti Rodrigues, C., Ziegelmann, P.K., 2010. Metanálise: Um guia prático [meta-analysis: a practical guide]. *Clin Biomed Res* 30, 436–447.
- Light, R.J., Pillemer, D.B., 1985. Summing up: The Science of Reviewing Research. *J. Policy Anal. Manag.* 5, 164. <https://doi.org/10.2307/3323437>
- Lopes, M.A., Magalhães, G.P., 2005. Análise da rentabilidade da terminação de bovinos de corte em condições de confinamento: um estudo de caso. *Arq. Bras. Med. Veterinária e Zootec.* <https://doi.org/10.1590/s0102-09352005000300016>
- Lu, C.D., Potchoiba, M.J., 1990. Feed intake and weight gain of growing goats fed diets of various energy and protein levels. *J. Anim. Sci.* 68, 1751. <https://doi.org/10.2527/1990.6861751x>
- Mahgoub, O., Lu, C.D., Early, R.J., 2000. Effects of dietary energy density on feed intake, body weight gain and carcass chemical composition of Omani growing lambs. *Small Rumin. Res.* 37, 35–42. [https://doi.org/10.1016/S0921-4488\(99\)00132-7](https://doi.org/10.1016/S0921-4488(99)00132-7)
- Malafaia, P., Granato, T.A.L., Costa, R.M., de Souza, V.C., Costa, D.F.A., Tokarnia, C.H., 2016. Major health problems and their economic impact on beef cattle under two different feedlot systems in Brazil. *Pesqui. Vet. Bras.* 36, 837–843. <https://doi.org/10.1590/S0100-736X2016000900008>
- Manuel, M., Cavani, L., Menezes, T.J., Millen, D.D., Andrighetto, C., Lupatini, G.C., Fonseca, R., 2019. Estimação de parâmetros genéticos para características de pesos e pesos metabólicos na desmama e pós-desmama em bovinos Brahman. *Arq. Bras. Med. Veterinária e Zootec.* 71, 274–280. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-9758>
- McCraib, G.J., Hunter, R.A., 1999. Prediction of methane emissions from beef cattle in tropical production systems. *Aust. J. Agric. Res.* 50, 1335.

<https://doi.org/10.1071/AR99009>

- Meglen, R.R., 1991. Examining large databases: A chemometric approach using principal component analysis. *J. Chemom.* 5, 163–179. <https://doi.org/10.1002/cem.1180050305>
- Melsen, W.G., Bootsma, M.C.J., Rovers, M.M., Bonten, M.J.M., 2014. The effects of clinical and statistical heterogeneity on the predictive values of results from meta-analyses. *Clin. Microbiol. Infect.* 20, 123–129. <https://doi.org/10.1111/1469-0691.12494>
- Mercadante, M.E.Z., Caliman, A.P. de M., Canesin, R.C., Bonilha, S.F.M., Berndt, A., Frighetto, R.T.S., Magnani, E., Branco, R.H., 2015. Relationship between residual feed intake and enteric methane emission in Nellore cattle. *Rev. Bras. Zootec.* 44, 255–262. <https://doi.org/10.1590/S1806-92902015000700004>
- Michal, J.J., Zhang, Z.W., Gaskins, C.T., Jiang, Z., 2006. The bovine fatty acid binding protein 4 gene is significantly associated with marbling and subcutaneous fat depth in Wagyu x Limousin F2 crosses. *Anim. Genet.* 37, 400–2. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2052.2006.01464.x>
- Minias, P., 2020. Ecology and Evolution of Blood Oxygen-Carrying Capacity in Birds. *Am. Nat.* 195, 788–801. <https://doi.org/10.1086/707720>
- Montanholi, Y.R., Odongo, N.E., Swanson, K.C., Schenkel, F.S., McBride, B.W., Miller, S.P., 2008. Application of infrared thermography as an indicator of heat and methane production and its use in the study of skin temperature in response to physiological events in dairy cattle (*Bos taurus*). *J. Therm. Biol.* <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2008.09.001>
- Moore, S.S., Mujibi, F.D., Sherman, E.L., 2009. Molecular basis for residual feed intake in beef cattle¹. *J. Anim. Sci.* 87, E41–E47. <https://doi.org/10.2527/jas.2008-1418>
- Moraes, G.F. de, Abreu, L.R.A., Ferreira, I.C., Pereira, I.G., 2017. Genetic analysis of residual feed intake adjusted for fat and carcass and performance traits in a

- Nellore herd. *Ciência Rural* 47. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20151505>
- Moraes, G.F., Abreu, L.R.A., Ferreira, I.C., Pereira, I.G., 2017. Análise genética do consumo alimentar residual ajustado para gordura e de características de carcaça e desempenho em um rebanho Nelore. *Cienc. Rural* 47. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20151505>
- Mueller, M., D'Addario, M., Egger, M., Cevallos, M., Dekkers, O., Mugglin, C., Scott, P., 2018. Methods to systematically review and meta-analyse observational studies: a systematic scoping review of recommendations. *BMC Med. Res. Methodol.* 18, 44. <https://doi.org/10.1186/s12874-018-0495-9>
- Murphy, W.G., 2014. The sex difference in haemoglobin levels in adults — Mechanisms, causes, and consequences. *Blood Rev.* 28, 41–47. <https://doi.org/10.1016/j.blre.2013.12.003>
- Nascimento, C.F., Branco, R.H., Bonilha, S.F.M., Cyrillo, J.N.S.G., Negrão, J.A., Mercadante, M.E.Z., 2015. Residual feed intake and blood variables in young Nellore cattle. *J. Anim. Sci.* 93, 1318–1326. <https://doi.org/10.2527/jas.2014-8368>
- Nascimento, M.L., Souza, A.R.D.L., Chaves, A.S., Cesar, A.S.M., Tullio, R.R., Medeiros, S.R., Mourão, G.B., Rosa, A.N., Feijó, G.L.D., Alencar, M.M., Lanna, D.P.D., 2016. Feed efficiency indexes and their relationships with carcass, non-carcass and meat quality traits in Nellore steers. *Meat Sci.* 116, 78–85. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.01.012>
- Oliveira, C.A., Millen, D.D., 2014. Survey of the nutritional recommendations and management practices adopted by feedlot cattle nutritionists in Brazil. *Anim. Feed Sci. Technol.* 197, 64–75. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.08.010>
- Owens, F.N., Dubeski, P., Hanson, C.F., 1993. Factors that alter the growth and development of ruminants. *J. Anim. Sci.* 71, 3138–3150. <https://doi.org/10.2527/1993.71113138x>

- Panero, F.S., Vieira, M.F.P., Cruz, Â.M.F., Moura, M.F. V., Silva, H.E.B. da, 2009. Aplicação da análise exploratória de dados na discriminação geográfica do quiabo do Rio Grande do Norte e Pernambuco. *Eclética Química* 34, 33–40. <https://doi.org/10.1590/s0100-46702009000300004>
- Pereira, G.F., Lima, P.O., Assis, L.C.S.L.C., Emerenciano Neto, J.V., 2018. Consumo de nutrientes, comportamento ingestivo e desempenho de ovinos alimentados com fenos de gramíneas tropicais em diferentes intervalos entre cortes. *Arq. Bras. Med. Veterinária e Zootec.* 70, 897–904. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-9775>
- Piety, N.Z., Reinahart, W.H., Stutz, J., Shevkoplyas, S.S., 2017. Optimal hematocrit in an artificial microvascular network. *Transfusion* 176, 139–148. <https://doi.org/10.1111/trf.14213>.Optimal
- Ramírez-Retamal, J., Morales, R., Martínez, M.E., de la Barra, R., 2013. Effect of breed and feeding on the carcass characteristics of the Chilote breed lamb. *Chil. J. Agric. Res.* 73, 48–54. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392013000100007>
- Resende, K.T., Teixeira, I.A.M.A., Fernandes, M.H.M.R., 2011. Metabolismo de energia., in: BERCHIELLI, T.T., PIRES, A.V., OLIVEIRA, S. (Eds.), *Nutrição de Ruminantes*. Funep, Jaboticabal, pp. 256–600.
- Restle, J., Da Silveira Keplin, L.A., Vaz, F.N., 1997. Quantitative carcass traits of charolais steers, slaughtered with different weights. *Pesqui. Agropecu. Bras.* 32, 851–856.
- Richardson, E.C., Herd, R.M., 2004. Biological basis for variation in residual feed intake in beef cattle. 2. Synthesis of results following divergent selection. *Aust. J. Exp. Agric.* 44, 431. <https://doi.org/10.1071/EA02221>
- Richardson, E.C., Herd, R.M., Archer, J.A., Arthur, P.F., 2004. Metabolic differences in Angus steers divergently selected for residual feed intake. *Aust. J. Exp. Agric.* 44, 441. <https://doi.org/10.1071/EA02219>
- Roman-Garcia, Y., Firkins, J.L., 2016. Meta-analysis of postruminal microbial

nitrogen flows in dairy cattle. II. Approaches to and implications of more mechanistic prediction. *J. Dairy Sci.* <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10662>

Rosa, C.A.P., 2012. *História da Ciência - A Ciência Moderna*. Brasília: FUNAG, pp. 07–403.

Salah, N., Sauvant, D., Archimède, H., 2014. Nutritional requirements of sheep, goats and cattle in warm climates: A meta-analysis. *Animal*. <https://doi.org/10.1017/S1751731114001153>

Salter, A.M., 2013. Impact of consumption of animal products on cardiovascular disease, diabetes, and cancer in developed countries. *Anim. Front.* 3, 20–27. <https://doi.org/10.2527/af.2013-0004>

Santana, M.H.A., Oliveira, G.A., Gomes, R.C., Silva, S.L., Leme, P.R., Stella, T.R., Mattos, E.C., Rossi, P., Baldi, F.S., Eler, J.P., Ferraz, J.B.S., 2014. Genetic parameter estimates for feed efficiency and dry matter intake and their association with growth and carcass traits in Nellore cattle. *Livest. Sci.* 167, 80–85. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2014.06.002>

Santos, R. de O., Gorgulho, B.M., Castro, M.A. de, Fisberg, R.M., Marchioni, D.M., Baltar, V.T., 2019. Principal Component Analysis and Factor Analysis: differences and similarities in Nutritional Epidemiology application. *Rev. Bras. Epidemiol.* 22. <https://doi.org/10.1590/1980-549720190041>

Sauvant, D., Schmidely, P., Daudin, J.J., St-Pierre, N.R., 2008. Meta-analyses of experimental data in animal nutrition, in: *Animal*. <https://doi.org/10.1017/S1751731108002280>

Schertl, P., Braun, H.P., 2014. Respiratory electron transfer pathways in plant mitochondria. *Front. Plant Sci.* <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00163>

Shirima, E.J.M., Mtenga, L.A., Kimambo, A.E., Laswai, G.H., Mgheni, D.M., Mushi, D.E., Shija, D.S., Safari, J.G., 2014. Influence of age at entry and level of concentrate feeding on growth and carcass characteristics of feedlot-finished Tanzanian long-fat-tailed sheep. *Trop. Anim. Health Prod.* 46, 815–822.

<https://doi.org/10.1007/s11250-014-0570-0>

- Silva, F.M.P., Panjota, S.O.S., Domingues, F.N., Rego, C., Faturi, C., 2021. Coconut meal inclusion in high concentrate sheep diets affects feed digestibility and intake 2125, 692–701.
- Silva, L.F.C. e, Valadares Filho, S. de C., Chizzotti, M.L., Rotta, P.P., Prados, L.F., Valadares, R.F.D., Zanetti, D., Braga, J.M. da S., 2012. Creatinine excretion and relationship with body weight of Nellore cattle. *Rev. Bras. Zootec.* 41, 807–810. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982012000300046>
- Silva, R.R., Borges, A.L.C.C., Carvalho, P.H.A., Souza, A.S., Vivenza, P.A. D., Silva, J.S. da, Lage, H.F., Ferreira, A.L., Gonçalves, L.C., Saliba, E.O.S., Borges, I., Campos, W.E., Rodriguez, N.M., 2018. Respirometry and Ruminant Nutrition, in: *Animal Husbandry and Nutrition*. InTech. <https://doi.org/10.5772/intechopen.73009>
- Silva Sobrinho, A.G., Machado, M.R.F., Gastaldi, K.A., Garcia, C.A., 2002. Efeitos da relação volumoso: concentrado e do peso ao abate sobre os componentes da perna de cordeiros Ile de France x Ideal confinados\rEffects of roughage: concentrate ratio and slaughter weight on leg components of Ile de France x Ideal feedlot lambs. *R. Bras. Zootec.* 2002, 1017–1023.
- Song, S., Wu, J., Zhao, S., Casper, D.P., Zhang, L., He, B., Lang, X., Wang, C., Gong, X., Wang, F., Liu, L., 2018. The effect of periodic energy restriction on growth performance, serum biochemical indices, and meat quality in sheep. *J. Anim. Sci.* 96, 4251–4263. <https://doi.org/10.1093/jas/sky299>
- Song, S.Z., Wu, J.P., Zhao, S.G., Casper, D.P., He, B., Liu, T., Lang, X., Gong, X.Y., Liu, L.S., 2017. The effect of energy restriction on fatty acid profiles of longissimus dorsi and tissue adipose depots in sheep1. *J. Anim. Sci.* 95, 3940–3948. <https://doi.org/10.2527/jas.2016.1235>
- Stick, D.A., Davis, M.E., Loerch, S.C., Simmen, R.C., 1998. Relationship between blood serum insulin-like growth factor I concentration and postweaning feed efficiency of crossbred cattle at three levels of dietary intake. *J. Anim. Sci.* 76,

498. <https://doi.org/10.2527/1998.762498x>
- Viechtbauer, W., 2010. Conducting meta-analyses in R with the metafor. *J. Stat. Softw.* <https://doi.org/10.18637/jss.v036.i03>
- Wang, Q., Wang, Y., Hussain, T., Dai, C., Li, J., Huang, P., Li, Y., Ding, X., Huang, J., Ji, F., Zhou, H., Yang, H., 2020a. Effects of dietary energy level on growth performance, blood parameters and meat quality in fattening male Hu lambs. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. (Berl.)* 104, 418–430. <https://doi.org/10.1111/jpn.13278>
- Wang, Q., Wang, Y., Hussain, T., Dai, C., Li, J., Huang, P., Li, Y., Ding, X., Huang, J., Ji, F., Zhou, H., Yang, H., 2020b. Effects of dietary energy level on growth performance, blood parameters and meat quality in fattening male Hu lambs. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. (Berl.)* 104, 418–430. <https://doi.org/10.1111/jpn.13278>
- Wang, X., Yan, S., Shi, B., Zhang, Y., Guo, X., 2019. Effects of concentrate supplementation on fatty acid composition and expression of lipogenic genes of meat and adipose tissues in grazing lambs. *Ital. J. Anim. Sci.* <https://doi.org/10.1080/1828051X.2018.1547666>
- Weston, A.R., Rogers, R.W., Althen, T.G., 2002. Review: The Role of Collagen in Meat Tenderness. *Prof. Anim. Sci.* 18, 107–111. [https://doi.org/10.15232/S1080-7446\(15\)31497-2](https://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)31497-2)
- Winslow, R.M., 2007. The role of hemoglobin oxygen affinity in oxygen transport at high altitude. *Respir. Physiol. Neurobiol.* 158, 121–127. <https://doi.org/10.1016/j.resp.2007.03.011>
- Woessner, J.F., 1961. The determination of hydroxyproline in tissue and protein samples containing small proportions of this imino acid. *Arch. Biochem. Biophys.* 93, 440–447. [https://doi.org/10.1016/0003-9861\(61\)90291-0](https://doi.org/10.1016/0003-9861(61)90291-0)
- Wood, T.B., Capstick, J.W., 1926. The maintenance requirement of the adult sheep. *J. Agric. Sci.* 16, 325–333. <https://doi.org/10.1017/S002185960001830X>

- Zhang, X., Wang, W., Mo, F., La, Y., Li, C., Li, F., 2017. Association of residual feed intake with growth and slaughtering performance, blood metabolism, and body composition in growing lambs. *Sci. Rep.* 7, 12681. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-13042-7>
- Zhao, R., Jiang, S., Zhang, L., Yu, Z., 2019. Mitochondrial electron transport chain, ROS generation and uncoupling (Review). *Int. J. Mol. Med.* <https://doi.org/10.3892/ijmm.2019.4188>
- Zulkifli, N.A., Naik, M., Pitchford, W.S., Bottema, C.D.K., 2008. Cattle residual feed intake candidate genes. Roseworthy, Australia.

CAPÍTULO 3 - Análise de componentes principais do efeito da energia da dieta sobre as características de qualidade da carcaça e carne ovina

Este capítulo está padronizado em acordo com as normas de publicação da Revista Ciência Agronômica, com exceção do idioma. O material suplementar pode ser consultado se solicitado ao autor principal.

CAPÍTULO 3 - ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS DO EFEITO DA ENERGIA DA SDIETA SOBRE AS CARACTERÍSTICAS DE QUALIDADE DA CARÇAÇA E DA CANE OVINA

A. A. C. Cruz^a, M.T.C. Almeida^b, L.H.C. Batista^a, J. M. B. Ezequiel^a

^a Departamento de Zootecnia, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, SP, 14884-900, Brasil; ^b Departamento de Zootecnia, Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, ES, 29500-000, Brasil

E-mail: aricruzzoo18@gmail.com (A. A. C. Cruz)

Resumo: Este trabalho objetivou avaliar a relação dos níveis de energia metabolizável com as características de carcaça e qualidade da carne ovina por meio de uma análise de componentes principais. Vinte e três publicações revisadas por pares com 121 médias foram incluídas, totalizando 1468 animais de ambos os sexos. As variáveis categóricas foram os níveis baixo, médio e alto de energia metabolizável em Mcal EM/kg de MS. As características de carcaça incluídas neste estudo foram espessura de gordura subcutânea, peso corporal final, comprimento de carcaça, perda por resfriamento, área de olho de lombo e rendimento de carcaça. As características da qualidade da carne incluídas neste estudo foram pH0 e pH24, matéria seca e extrato etéreo da carne, força de cisalhamento e perda por cozimento. O estudo foi realizado utilizando o programa R, versão R-3.6.3. Os dois primeiros componentes explicaram 81,51% da variância dos dados. As variáveis mais importantes no primeiro componente principal foram comprimento da carcaça, pH0, extrato etéreo da carne, enquanto que no segundo componente principal foram as variáveis matéria seca da carne e perda por resfriamento. O baixo nível de energia foi negativamente associado as variáveis de peso corporal final e força de cisalhamento. Na ACP, o alto nível da energia apresentou relação positiva com o extrato etéreo da carne e perda por cozimento, mas negativa com a força de cisalhamento. Isso sugere que o aumento de energia até 3,27 Mcal de EM/kg de MS na dieta de ovinos aumenta a quantidade de extrato etéreo da carne e perda por cozimento, e isso implica maior facilidade para quebra das fibras musculares se comparado ao baixo nível de energia dietética.

Palavras-chave: análise multivariada, área de olho de lombo, desempenho animal, perda por cozimento

1. INTRODUÇÃO

A energia é o primeiro componente limitante da dieta, uma vez que tanto o uso quanto a digestão de nutrientes são dependentes da energia. Investigações prévias indicaram que as necessidades de energia metabolizável de manutenção em ovinos é cerca de 542,64 kJ EM/kg por peso corporal metabólico ($PC^{0.75}$) (SALAH et al., 2014), mas há poucos relatos da energia dietética associada à qualidade da carcaça e da carne ovina.

Os tradicionais sistemas de recomendação nutricional de ovinos (ARC, 1980; AFRC, 1993; NRC, 1985, 2007; INRA 1978, 1989) são limitados a fornecer informações sobre a energia e desempenho animal. Existem poucos estudos relacionando esses três parâmetros (energia, carcaça e qualidade da carne). Os últimos foram investigados por Brand et al., (2019; Kotsampasi et al., (2017); Song et al., (2018, 2017). Isso encoraja pesquisas nesse tema buscando ajustar os níveis de energia da dieta as características da carne e carcaça que sejam atrativas ao consumidor (e.g., maior maciez, menor perda de água no cozimento etc).

Para avaliar a relação entre energia da dieta, características de carcaça e da carne ovina, os métodos univariados são limitados, sendo mais apropriada a análise multivariada que avalia simultaneamente um conjunto de características considerando as correlações entre as variáveis, além de permitir melhor interpretação das informações extraídas do banco de dados (Santos et al., 2019)

A ACP é uma técnica multivariada usada na análise exploratória de dados e caracteriza-se como um estudo piloto que busca extrair de um grande conjunto de dados, o mínimo de variáveis que melhor explique a relação entre as variáveis selecionadas (Panero et al., 2009), objetivando orientar o pesquisador sobre como proceder em estudos futuros a partir dos achados. Por meio da ACP é definida por meio das combinações lineares, as variáveis mais importantes para resumir melhor o conjunto de dados (Meglen, 1991). As observações no primeiro componente principal são definidas como a combinação linear das variáveis originais, cuja variância da amostra é maior entre todas as combinações lineares possíveis (Gentleman et al., 2011). Os componentes principais subsequentes são definidos

de forma semelhante. Em uma ACP conduzida por Cañeque et al., (2004), mas o estudo foi limitado a estudar animais com peso de até 14,5 kg. Embora estes animais apresentem carnes com boa maciez devido ao baixo teor de colágeno (Weston et al., 2002; Woessner, 1961), investigações com animais acima desse peso também são requeridos já que no Brasil os ovinos são abatidos em média aos 30 kg (Cunha et al. 2008).

Uma vez que a qualidade da carne é muito relacionada aos processos pós abate, nós hipotetizamos que o nível de energia da dieta atua mais sobre as características da carcaça do que sobre a qualidade da carne, O objetivo do presente estudo foi por meio de uma ACP, avaliar as variáveis mais importantes da relação entre energia metabolizável e qualidade da carne e da carcaça ovina por meio de análise de componentes principais

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Pesquisa dos dados base

Foram utilizados 33 artigos publicados em periódicos indexados, totalizando 121 médias para este trabalho. Os artigos resultaram de um total de 1468 ovinos com idade média de 110 dias (DP = 79,60). No conjunto de dados original, 72% dos estudos usaram machos não castrados e os 38% restante utilizaram animais de ambos os sexos. A ração total mista (RTM) foi o método de alimentação predominante entre os estudos bases, sendo que 57,58% dos estudos adotaram o RTM de modo exclusivo; 33,33% com RTM parcial e 9,09% não informaram. A relação do volumoso: concentrado nas dietas foi de até 10:90 e a duração média dos experimentos foi de 63 dias (DPM= 24). Na Tabela 1 são apresentadas algumas características descritivas das dietas e dos experimentos de campo realizados nos artigos bases; mais informações estão disponíveis no material suplementar.

Primeiro autor, ano	Tipo genético	Sexo	Animais castrados ou não	Idade dos animais, dias	n (animais)	MA	DE	CONC. %	D.EXP (dias)
Araujo Filho et al. 2010	Morada Nova	Fêmea		150	54	TMR	DIC		70
Araujo Filho et al. 2010	Santa Inês			100					61
Avendano-Reyes et al. 2011	Mestiços	Fêmea		120	24	TMR	DBC	20	34
Beauchemin et al. 1995	Mestiços	Ambos		56	327	TMR	DQL		54
Bhatt et al., 2014	Malpura	Macho		28	24		DBC	42,5	
Blanco et al., 2014	Merino	Macho		56	44	TMR	DBC		
Blanco et al., 2014	Merino	Macho		56	40	TMR			
Brand et al., 2014	Merino	Macho			108	TMR			40
Costa et al, 2019	Santa Inês	Macho	Não		48	TMR	DBC	60	
Costa et al., 2010	Mestiços	Machos			54	TMR	DBC	69,5	
Dávila-Ramírez et al., 2014	Mestiços dorper	Ambos		120	40	TMR	DBC	85	34
Estrada-Angulo et al., 2018	Mestiços Pelibuey Katahdin	Fêmea			40	TMR	DBC	25	84
Farias et al. 2015	Mestiços Suffolk	Macho	Não	70	18	TMR	DIC	80	63
Felix et al., 2014	Mestiços Pelibuey Katahdin	Macho	Não		32	TMR	DIC	80	
Fimbres et al., 2002	Pelibuey	Macho			20	TMR	DIC	90	60
Haddad et al., 2003	Awassi	Macho				TMR	DIC	85	62
Hindiyeh et al., 2011	Awassi			65	40		DIC	40	
Jianxin Jiao et al., 2019	Ovinos Tibetan	Ambos		366	24		DBC		56
Jianxin Jiao et al., 2019	Tailed Han	Ambos						20	
Kazemi-Bonchenari et al., 2015	Mestiços Lori-Bakhtiari	Macho	Não		40		DIC	30	
López-Aguirre et al., 2019	Rambouillet	Macho	Não	150	21	Parcial TMR	DIC	40	
López-Campos et al., 2011	Merino lambs	Macho	Não	42	24	Parcial TMR	DIC	50	

Medeiros et al., 2009	Morada Nova	Macho	Não	240	32	TMR	DBC	20	
Macedo et al., 2008	Mestiços Suffolk	Macho	Não		16		DIC	30	
Macedo et al., 2008	Mestiços Suffolk	Macho	Não		16	TMR	DIC	40	
Morgado et al., 2013	Dorper x Santa Inês	Macho	Não	80	24	TMR	DIC	50	
Obeidat et al., 2009	Awassi	Ambos			26	TMR	DIC	65	120
Papi et al., 2011	Mestiços fat-tailed Chall	Macho	Não	165	80	TMR	DBC	69	
Radunz et al., 2009	Hampshire x Dorper	Ambos		58	48	TMR	DBC	73	
Salinas et al., 2006	Pelibuey	Macho	Não		20	TMR	DIC	80	
SoltaniNezhad et al., 2016	Kermani	Macho	Não	180	40	TMR	DIC	50	
Van Cleef et al., 2016	Santa Inês x Dorper)	Macho	Não		24		DIC	30	
Whitney et al., 2010	Rambouillet	Macho	Não	120	33		DIC	83,8	
Wang et al., 2019	Hu	Macho	Não	120	60	TMR	DIC	82,3	

MA= método de arraçãoamento; DE= delineamento experimental; DIC= delineamento inteiramente casualizado; CONC, %= percentual de concentrado inserido na dieta; D.EXP= Dias experimentais; DBC=delineamento em blocos casualizados; DQL= delineamento em quadrado latino;

Os fatores que associaram energia da dieta e características de carcaça e carne ovina foram avaliados por meio de uma ACP, considerando os níveis de energia metabolizável como variáveis categóricas. Os níveis de EM foram 1,67 a 2,16; 2,17 a 2,71 e 2,72 a 3,27, sendo considerados baixo, médio e alto: Mcal EM/kg da MS, respectivamente. Durante a organização de dados, a energia digestível, apresentada nos estudos base foi transformada em energia metabolizável (EM), segundo a relação $DE = 71\%$ da EM para ovinos, conforme proposto por (Resende et al., 2011). Para outros ajustes relacionados às unidades de energia foi considerado que $1 \text{ Mcal} = 4,184 \text{ kJ}$ (Meissner et al., 1995).

As características de carcaça incluídas neste estudo foram peso de carcaça quente, perda de resfriamento, área de olho de lombo, comprimento de carcaça e rendimento de carcaça, enquanto as relacionadas à qualidade da carne foram perda por cozimento, porcentagens de extrato etéreo e matéria seca da carne, força de cisalhamento e pH0 e pH24.

Os artigos incluídos foram obtidos nas seguintes plataformas de pesquisa online: [Web of Science] <https://clarivate.com/webofsciencegroup/solutions/web-of-science/>; [PubMed] <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>; [Science Direct] <https://www.sciencedirect.com/>; [Google Scholar] <https://scholar.google.com/> e [Journal of Animal Science] <https://academic.oup.com/jas>. Os termos utilizados nesta pesquisa foram “energy levels” AND “lambs” AND “carcass characteristics”; “energy levels” AND “meat quality” AND “sheep”.

A busca dos estudos base foi realizada no período de fevereiro a março de 2020. De modo a evitar tendência na elegibilidade dos artigos, a seleção dos artigos foi conduzida por dois autores e um total de 254 estudos foram pré-selecionados. Após avaliação, apenas 33 estudos com 121 médias e 1468 animais (material complementar S4) permaneceram no banco de dados (ver Figura 1 para mais detalhes).

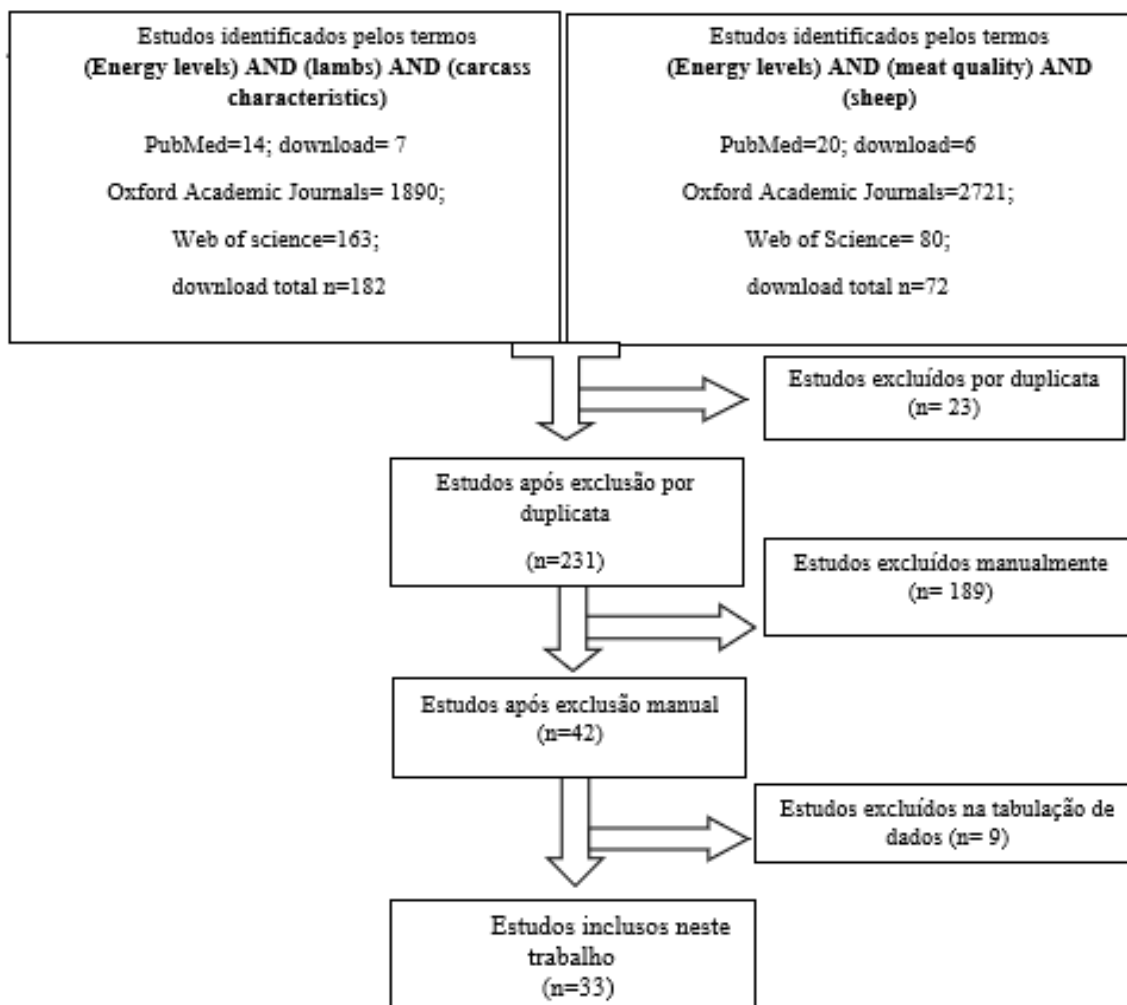


Figura 1. Diagrama descrevendo os critérios de inclusão adotados nesta ACP, mais informações são descritas no abaixo.

2.2. Seleção dos artigos e critério de inclusão

Os dados foram sistematicamente inseridos em uma planilha do Excel de modo que cada linha representava a energia metabolizável e cada coluna representava a variável (Sauvant et al., 2008). Para a inclusão dos estudos, foi necessário que estes relatasse sobre a composição da dieta, carcaça, qualidade da carne e número de animais utilizados. Não houve restrição quanto à idade dos animais, raça ou região geográfica onde o estudo foi realizado. Os artigos que

fizeram parte deste trabalho são apresentados no material online suplementar S3 disponível em (<https://doi.org/> /).

2.3. Análise estática e transformação de dados.

A transformação dos dados numa ACP visa tornar as variáveis comparáveis, (i.e., como o mesmo peso), mesmo que sejam apresentadas em unidades e escalas diferentes. Para esta transformação, a fórmula utilizada foi:

$$Z = \frac{EB - \text{média}}{\text{desvio padrão}}$$

em que Z= dado transformado, EB = escore ou dados brutos, média = média da variável.

A relação apresentada entre os dados transformados é semelhante a existente entre os dados brutos, com média= 0 e desvio padrão=1 (Egger, 2017). Segundo o autor, a padronização de dados é uma abordagem amplamente usada no contexto da preparação dos dados para serem utilizados em análise de componentes principais.

Inicialmente os outliers foram removidos no programa Excel® para verificar se alguma variável apresentava resíduo estudentizado fora da faixa de -2,5 e +2,5 (ver material complementar S.2 sobre estudos excluídos). Ao final do processamento dos dados, a presença de outliers foi verificada novamente através da função *find.outlier*, e quando necessário, removidos com a ajuda do pacote *dmetar* no programa R, versão 3.4.3. (HARRER et al., 2019). Devido à ausência de valores no conjunto de dados originais, alguns valores foram estimados por meio do pacote *ImpuPCA*, conforme proposto por (Josse and Husson, 2012). No entanto, para algumas variáveis, (por exemplo, percentual de umidade e capacidade de retenção de água na carne etc.), não foi possível tal estimativa devido ao n reduzido. Devido a isso, essas variáveis foram retiradas deste estudo.

A imputação dos valores se deu por meio da utilização de um algoritmo ACP *iterativo* regularizado (método regulado), que consiste primeiro em imputar os valores perdidos pela média da variável e, em seguida, há um *reset* aleatório no

qual os valores são extraídos de uma distribuição gaussiana com média e desvio padrão calculados a partir dos valores observados (Josse and Husson, 2016, 2012).

Ao final da imputação e análise dos dados, outras variáveis foram excluídas por não estarem relacionadas ao fator em estudo. Na realização da ACP, especificamente após a visualização do gráfico biplot, alguns dos pares de variáveis que apresentaram alta correlação (> 90%) foram removidos devido a promoção do enviesamento do gráfico biplot, ou seja, o par de variável tende a apresentar peso = 2, se as variáveis forem analisadas simultaneamente. A ACP foi realizada com o pacote *PCAshiny* considerando os três níveis de energia (EM Mcal / kg MS) como variáveis categóricas. Os níveis foram: baixo = 1,67 a 2,16; médio = 2,17 a 2,71 e alto 2,72 a 3,27 Mcal EM /kg de MS.

3. RESULTADOS

3.1. Desempenho animal e características da dieta

As características descritivas das dietas experimentais e desempenho dos animais são apresentadas na Tabela 1. Os artigos originais indicaram que a idade dos animais variou de 28 a 366 dias. As dietas experimentais apresentaram alto teor de concentrado de até 90% na MS. Os valores máximos de matéria seca e energia nas dietas experimentais foram de até 94,20% e 3,27 Mcal EM/ kg MS, respectivamente. O CMS foi de 0,65 a 1,78 kg/dia (DPM=0,26).

Tabela 1. Características descritivas da composição dietética e desempenho animal.

<i>Características da dieta</i>	n	Média	Moda	Mínimo	Máximo	DPM
Concentrado da dieta, %	27	55,18	20	20	90	23,8
Energia metabolizável, Mcal/kg de MS	96	2,72	1,61	1,39	3,27	0,44
Matéria seca, %	57	90,4	93,4	66,7	94,2	6,03
Proteína bruta, %	113	15,81	15	6,91	21,18	3,26
Matéria orgânica, %	49	92,7	92,7	85,5	98,78	3,47
Fibra em detergente neutro, %	80	28,8	69,4	9,5	68,41	14,5
Fibra em detergente ácido, %	65	15	11,8	4,6	45,6	9,99
Carboidratos não fibrosos, %	21	35,62	26,5	8,45	63,8	17,1
Extrato etéreo, %	78	3,6	3,07	1,3	13,05	2,29
Material mineral, %	54	6,7	3,9	1,22	14,5	3,05
Digestibilidade da MS, %	27	73,3	76,6	41,76	82	12,3
Digestibilidade da MO, %	15	71,1	78,1	46,27	79,5	11,7
<i>Desempenho animal</i>						
Idade dos animais, dias		110	120	28	366	79,6
Peso inicial, kg	47	21,4	27,7	16,56	32,1	4,69
Peso final, kg	65	34,8	34,8	16,8	61,1	10,6
Consumo de MS, kg/d	84	1,09	1,03	0,65	1,78	0,26
Consumo de FDN, kg/d	15	0,33	--	0,15	0,54	0,12
Ganho médio diário, kg/d	85	0,26	0,25	0,15	0,84	0,09
Eficiência alimentar (ganho:consumo)	42	0,23	0,36	0,16	0,48	0,09
Conversão alimentar (consumo:ganho)	44	4,84	--	2,74	9,53	1,85

MO= matéria orgânica; FDN= fibra em detergente neutro; MS= matéria seca; DPD=desvio padrão da média

As estatísticas descritivas das características de carcaça e carne são apresentadas na Tabela 2. O rendimento médio de carcaça foi de 49,09% corroborando com o padrão da espécie ovina segundo Silva Sobrinho et al., (2002) que relataram rendimento de 40 a 50%. Em relação as mensurações de pH0 e pH24 houve uma queda de 6,41 a 5,69, sendo um comportamento normal após o resfriamento da carcaça.

Tabela 2. Características descritivas da qualidade da carcaça e da carne obtidas a partir dos dados originais.

Características da carcaça	n	média	moda	Mínimo	máximo	DPM
EGS (cm)	46	1,7	1,87	0,17	3,80	1,87
Área de olho de lombo, (cm ²)	75	15.29	17.50	5.50	20.16	3.73
Comprimento de carcaça, (cm)	20	57.68	55.80	54.21	67.90	4.22
Rendimento de carcaça, %	13	49.09	47.00	47.00	50.69	1.31
Características da carne						
pH0	11	6.41	6.41	6.20	6.54	0.10
pH24	25	5.69	5.75	5.32	6.19	0.27
Matéria seca da carne	8	47.50	--	38.00	59.03	4.36
Perda por resfriamento, %	25	2.54	2.50	1.98	3.06	0.30
Extrato etéreo, %	11	6.41	6.41	6.20	6.54	0.10
Força de cisalhamento, kg	24	2.76	2.30	2.15	7.70	2.17
Perda por cozimento, %	20	23.42	41.80	16.61	42.3	8.40

DP = desvio padrão da média; EGS: Espessura de gordura subcutânea. Os valores de pH0 e pH24 expressam as mensurações em 0h e 24 h após o abate, respectivamente.

3.2. Análise de componentes principais

Na Tabela 3 são apresentados os autovalores dos dois primeiros componentes principais, a variância em percentual e variância cumulativa. Os autovalores representam a quantidade de variância nos dados originais contabilizados por cada componente.

Tabela 3. Autovalores, porcentagem da variância explicada pelos componentes e variância acumulada do efeito da energia sobre a qualidade de carne e carcaça ovina nos principais componentes (PC).

	Autovalores	% variância	% variância cumulativa
PC.1	4,71	42,82	42,82
PC.2	4,26	38,69	81,51
PC.3	0,82	7,47	88,98
PC.4	0,43	3,96	92,94
PC.5	0,24	2,20	95,14
PC.6	0,19	1,77	96,91
PC.7	0,13	1,19	98,10
PC.8	0,10	0,95	99,05
PC.9	0,05	0,53	99,58
PC.10	0,03	0,30	99,88
PC.11	0,01	0,12	100,00

Na Figura 2 é apresentada a contribuição das variáveis nos dois primeiros componentes principais, enfatizando o peso de cada característica tem sobre a influência nos dois primeiros componentes. Este é a demonstração gráfica que representa a parte mais importante da variação dos dados. O tamanho, a cor da linha, o ângulo em relação ao eixo das abcissas e das coordenadas, indicam a contribuição da variável. A perda por cozimento, matéria seca, peso corporal final, rendimento da carcaça, extrato etéreo e força de cisalhamento foram as variáveis que mais se destacaram em termos de contribuição sobre a variância dos dados.

A matéria seca da carne e a perda por cozimento apresentaram comportamentos semelhantes quando apresentadas no gráfico biplot (Figura 2). Do mesmo modo que a espessura de gordura subcutânea e pH0, estando estas localizadas no plano positivo do gráfico, mas com pouca influência sobre as variáveis da carne e da carcaça devido ao ângulo em relação ao eixo das abcissas e das coordenadas. Como já esperado, a força de cisalhamento e matéria seca foram inversamente associadas, isto é, a direção dos vetores destas variáveis foram

em

direções

opostas.

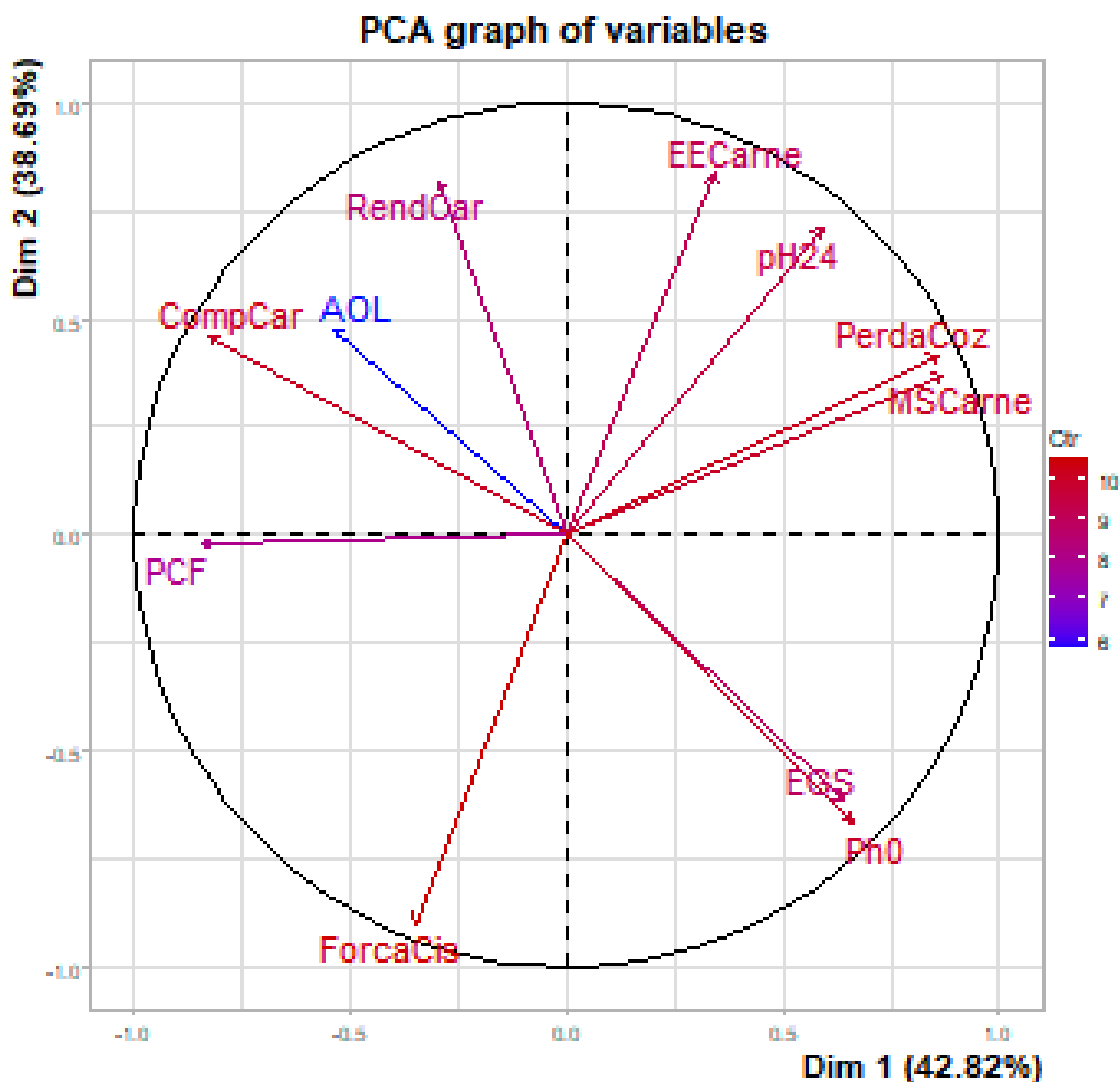


Figura 2. Distribuição multidimensional das variáveis. A maior contribuição das variáveis é indicada nos dois primeiros componentes principais (Dim 1 e Dim 2) proporcionais ao comprimento da linha. RendCar: Rendimento de carcaça; PCF: peso corporal final; CompCar: comprimento de carcaça; AOL: área de olho de lombo; MSCarne: matéria seca da carne; EECarne: éter etéreo da carne; pH0, medido zero hora após o abate; pH24, medido 24 horas após o abate; PerdaCoz: perda por cozimento ou cocção; ForcaCis: força de cisalhamento.

Os autovalores são a representação numérica da distribuição dos autovetores no plano multidimensional. Os maiores autovalores são predominantes e geralmente apresentados nos dois primeiros componentes principais e representam as variáveis mais influentes do conjunto de dados. De acordo com a Tabela 4, essas variáveis foram matéria seca da carne (autovalor, AV= 0,40), perda

por cozimento ($AV= 0,40$, peso corporal final ($AV= -0,39$), enquanto que no segundo componente principal, as mais influentes foram rendimento de carcaça ($AV=0,40$), extrato etéreo da carne ($AV=0,40$) e força de cisalhamento ($AV= - 0,44$).

Na figura 3 é apresentada a análise de agrupamento nos níveis alto, baixo e médio de energia plotado no espaço multidimensional. Se observarmos o gráfico de agrupamento e o gráfico biplot simultaneamente, o alto nível de energia foi mais relacionado às variáveis como extrato etéreo, matéria seca e força de cisalhamento, enquanto que o baixo nível foi mais associado à força de cisalhamento e peso corporal final. O médio nível de energia foi pouco relacionado às variáveis importantes nos dois primeiros componentes principais devido ao seu grupamento estar localizado no centro do plano cartesiano (Figura 3).

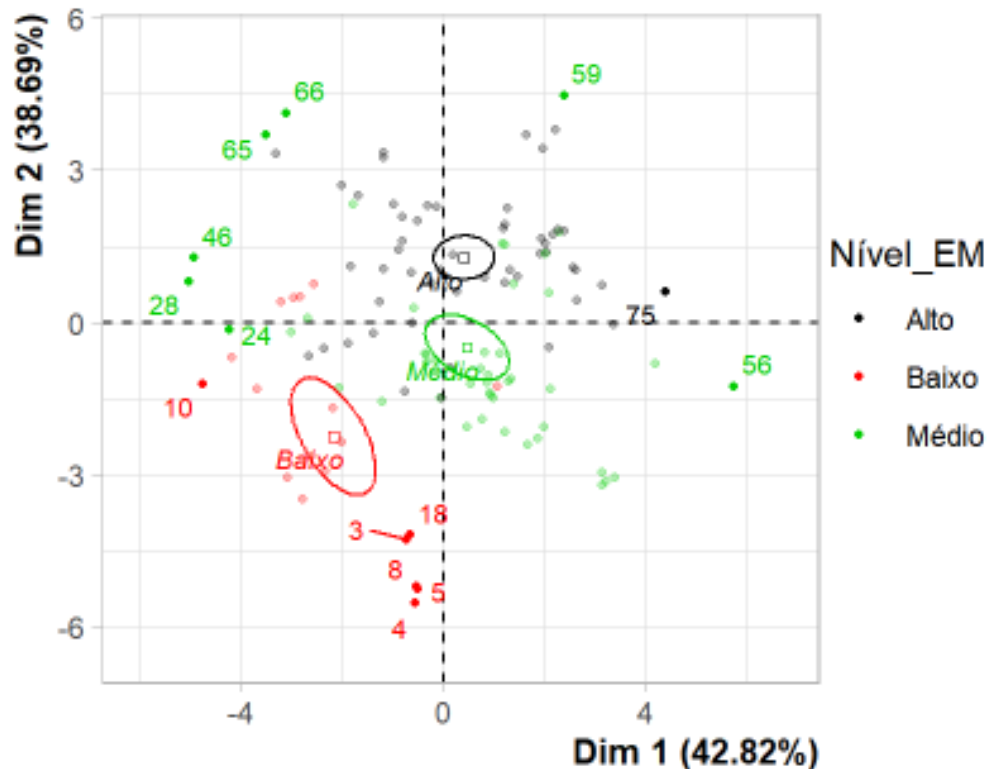


Figura 3. Agrupamentos dos níveis de energia sobre a qualidade da carne e da carcaça ovina apresentados no plano multidimensional.

Tabela 4. Autovetores dos dados originais extraídos sobre rotação máxima estimados pela análise de componentes principais (PC).

Variáveis	PC 1	PC 2	PC 3	PC 4	PC 5
Área de olho de lombo	-0,25	0,23	0,63	0,52	0,29
Comprimento de carcaça	-0,38	0,22	0,20	-0,02	-0,15
Espessura de gordura subcutânea	0,30	-0,30	0,23	0,20	0,45
Rendimento de carcaça	-0,14	0,40	0,08	-0,61	0,48
Matéria seca da carne	0,40	0,18	-0,24	1,64	0,22
Extrato etéreo da carne	0,16	0,40	-0,37	0,15	0,42
pH0	0,31	-0,32	0,18	-0,09	0,14
pH24	0,27	0,34	-0,05	0,34	-0,34
Perda por cozimento	0,40	0,20	0,23	-0,05	-0,16
Força de cisalhamento	-0,16	-0,44	-0,14	0,07	0,25
Peso corporal final	-0,39	-0,01	-0,45	0,37	0,14

Os autovalores são os novos grupos de variáveis gerados. Autovalores maiores que 0,75 ($> 0,75$) foram considerados "fortes", valores que variam de 0,50-0,75 ($0,50 \geq \text{carga fatorial} \geq 0,75$) foram considerados "moderados" e valores que variam de 0,30 a 0,49 ($0,30 \geq \text{carga fatorial} \geq 0,49$) foram considerados como tendo carga fatorial "fraca". A rotação é para que o primeiro eixo contenha o máximo de variação possível, o segundo eixo contenha a quantidade máxima de variação restante e assim por diante.

4. DISCUSSÃO

A alta proporção de concentrado na dieta de ruminantes (Tabela 1) tem sido uma estratégia para melhorar o desempenho em animais de produção (Kumar et al., 2014; Oliveira and Millen, 2014). No Brasil, a inclusão de concentrado na dieta de ruminantes chega até 90% (Malafaia et al., 2016) e busca principalmente redução da idade ao abate e nas características da carcaça (McCrabb & Hunter, 1999).

O rendimento de carcaça no presente estudo apresentou-se moderadamente associado a alto nível de energia em acordo com a cor da seta e tamanho do vetor no gráfico (Figura 2). A variação do rendimento de carcaça nos artigos bases foi de 38% a 59,03%, corroborando os relatos de Corazzin et al., (2019) que relataram valores de 36% a 60%. O rendimento da carcaça pode ser influenciado por diversos fatores, tais como idade, peso de abate, sistema de produção e conteúdo

gastrointestinal (Assan, 2015), e se caracteriza como um importante índice na produção ovina (Ramírez-Retamal et al., 2013).

O rendimento de carcaça é a relação entre o peso do animal a ser abatido e o peso de carcaça quente (Gomes e Betipaglia, 2019). Ainda em acordo com os autores, o sistema de produção é fator importante na determinação do rendimento de carcaça. No sistema intensivo há maior consumo de grãos, enquanto que no sistema extensivo, o animal necessita de maior volume de alimentos para atender a seus requerimentos nutricionais. Preston Williams (1982) relatou que o aumento do teor de concentrado na dieta diminui o volume do trato gastrointestinal e aumenta o rendimento de carcaça. Por outro lado, se a dieta apresenta grande quantidade de grãos, esta parece não exercer muita influência sobre o rendimento de carcaça, corroborando com os nossos achados em que observamos o uso de 55% (DPM =23,76) de concentrado na dieta dos ovinos.

A variação do CMS observado neste trabalho foi de 0,65 a 1,78 kg/MS/dia, em acordo com os padrões da espécie ovina. O CMS (Tabela 1) é um dos fatores que apresenta grande variação pois é influenciado tanto pela fibra em detergente neutro (FDN) da forragem quanto pela quantidade de concentrado da dieta (Pereira et al., 2018). A FDN (que engloba a fibra em detergente neutro indigestível) limita o CMS devido ao enchimento físico do rúmen (Allen, 2000), enquanto que o concentrado atua limitando como fator fisiológico em função do balanço nutricional da dieta (Silva et al., 2006), isto é, limita a medida em que o animal consome concentrado e há o saciamento do consumo de energia devido a absorção dos ácidos graxos de cadeia curta, sendo o proprionato o mais importante nesse processo.

A ACP no presente estudo mostrou-se eficiente em explicar a variância total de 81,51% apenas nos dois primeiros componentes principais (Tabela 3). Em estudos prévios com carcaças ovinas, o total aproximado dessa variância foi explicado nos cinco primeiros componentes principais, com 80,43% e 77% (Cañequé et al., 2004; Guedes et al., 2018, respectivamente), o que demonstra a eficiência do presente trabalho na escolha das variáveis estudadas.

As variáveis que mais influenciaram a variância nos dois primeiros PCs, (i.e matéria seca da carne, força de cisalhamento) estão mais relacionadas à qualidade da carne do que as características da carcaça, contrariamente à nossa hipótese. Ao observarmos o comportamento destas duas variáveis quando plotadas no plano cartesiano (Figura 2), a direção dos vetores é contrária.

Embora tenham sido variáveis importantes em componentes diferentes, a matéria seca da carne e a força de cisalhamento foram positivamente associadas ao alto nível de energia. Desse modo, é possível inferir que o aumento do conteúdo de energia da dieta, elevou a quantidade de gordura na carne, isso reduz a força de cisalhamento necessária para quebrar as fibras musculares. A força de cisalhamento é utilizada para avaliar a maciez da carne sendo que uma força maior para o cisalhamento indica maior dureza da carne. A matéria seca, capacidade de retenção de água, perda por cozimento são variáveis intimamente ligadas.

Como esperado, a espessura de gordura subcutânea não foi uma das variáveis mais importantes na explicação da variação dos dados deste estudo, pois, segundo Arboitte et al., (2004) e Costa et al., (2002) é uma característica muito associada ao tempo de confinamento, embora seja relacionada também aos fatores da dieta. Durante o crescimento do animal ocorre maior deposição de massa muscular, principalmente na puberdade. Após o pico de crescimento, o animal apresenta maior deposição de gordura ao invés de músculo (Owens et al., 1993).

A compreensão no modo de interação desses fatores pode ser útil tanto na adequação do manejo prático na produção, quanto na melhoria da qualidade da carne ovina.

O extrato etéreo na carne foi positivamente associado ao alto nível de energia, enquanto que a força de cisalhamento apresentou comportamento diferente em oposição ao extrato etéreo quando apresentado no plano cartesiano. Isso sugere que o aumento do nível de energia aumenta o teor de gordura da carne. Diante disso é possível inferir que a gordura da carne atua facilitando o deslizamento das fibras musculares quando submetidas a determinada força física. Se pensarmos no processo mastigatório, na prática a junção da gordura e músculos faz com que seja requerida uma menor força para processo mastigatório.

5. CONCLUSÃO

Os achados deste estudo sugerem que o uso de dietas com alta densidade energética de 2,72 a 3,27 Mcal de EM/kg de MS pode aumentar o extrato etéreo da carne, e isto implica em redução da força de cisalhamento da carne, melhorando a maciez da carne. O baixo nível (1,61 a 2,16 Mcal de EM/kg de MS) influencia negativamente sobre o peso corporal, enquanto que o nível médio apresenta contribuição moderada sobre os aspectos qualitativos da carne ovina.

Conflito de interesse

Nenhum

Agradecimentos

Os autores agradecem à CAPES (Brasília, DF, Brasil) pelo apoio financeiro ao primeiro autor Antonio Ariclézio Carlos Cruz no programa de doutorado em Zootecnia (UNESP - Jaboticabal / SP).

Material Suplementar

O material suplementar para este artigo está disponível na versão online em ([https:// doi....](https://doi...))

6. REFERÊNCIAS

- Agricultural and food research council - AFRC. 1993. Energy and protein requirements of ruminants. Wallingford: Commonwealth Agricultural Bureaux International. 159p.
- Agricultural Research Council (ARC). 1980. The Nutrient Requirements of Ruminant Livestock, Commonwealth Agricultural Bureaux, Farnham Royal, Slough (1980).

- Arruda, P. C. L., Pereira, E. S., Pimentel, P. G., Bomfim, M. A. D., Mizubuti, I. Y., Ribeiro, E. L. D. A., ... Filho, J. G. L. R. (2012). Perfil de ácidos graxos no Longissimus dorsi de cordeiros Santa Inês alimentados com diferentes níveis energéticos. *Semina: Ciências Agrárias*. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2012v33n3p1229>
- Abdullah, A.Y., Awawdeh, F.T., Musallam, H.S., Titi, H.H., Obeidat, B.S., Kridli, R.T., Qudsieh, R.I., Abu Ishmais, M.A., 2008. Performance and carcass characteristics of intact and castrated male Black goat kids fed diets of various energy levels. *Aust. J. Exp. Agric.* 48, 1217. <https://doi.org/10.1071/EA07368>
- Abreu, L.R.A., Martins, P.G.M.A., Ribeiro, V.M.P., Gouveia, G.C., Moraes, G.F., 2019. Genetic association between residual feed intake and carcass traits in a herd of Nelore beef cattle. *Livest. Sci.* 225, 53–61. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2019.04.020>
- Abud, L.J., Oliveira Guimarães Abud, C., Lage Costa, G., Soares Fioravanti, M.C., Martins, C.F., McManus Pimentel, C.M., Bezerra Sereno, J.R., 2016. Perfil bioquímico e hematológico associados à ocorrência da gestação em novilhas nelore. *Acta Vet. Bras.* 10, 16. <https://doi.org/10.21708/avb.2016.10.1.5461>
- Agenas, S., Heath, M.F., Nixon, R.M., Wilkinson, J.M., Philips, C.J.C., 2006. Indicators of undernutrition in cattle., *Animal Welfare. Univ Federation Animal Welfare*.
- Alberts, B., Johnson, A., Lewis, J., Morgan, D., Raff, M., Roberts, K., Walter, P., 2008. *Molecular Biology of the Cell*, 5th Edition, Medicine & Science in Sports & Exercise. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e318185ce9d>
- Alfaro, G.F., Rodriguez-Zas, S.L., Southey, B.R., Muntifering, R.B., Rodning, S.P., Pacheco, W.J., Moisés, S.J., 2021. Complete Blood Count Analysis on Beef Cattle Exposed to Fescue Toxicity and Rumen-Protected Niacin Supplementation. *Animals* 11, 988. <https://doi.org/10.3390/ani11040988>
- Ali, Z., Bhaskar, S., 2016. Basic statistical tools in research and data analysis. *Indian J. Anaesth.* 60, 662. <https://doi.org/10.4103/0019-5049.190623>
- Allen, M.S., 2000. Effects of Diet on Short-Term Regulation of Feed Intake by Lactating Dairy Cattle. *J. Dairy Sci.* 83, 1598–1624. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(00\)75030-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(00)75030-2)
- Almeida, R. de, 2005. Consumo e eficiência alimentar de bovinos em crescimento. *Esc. Super. Agric. Luiz Queiroz, Univ. São Paulo, Piracicaba, SP. Universidade de São Paulo, Piracicaba*. <https://doi.org/10.11606/T.11.2005.tde-09112005-150314>
- Alves, K.S., Carvalho, F.F.R. de, Ferreira, M. de A., Vêras, A.S.C., Medeiros, A.N. de, Nascimento, J.F. do, Nascimento, L.R.S., Anjos, A.V.A. dos, 2003. Níveis de energia em dietas para ovinos Santa Inês: características de carcaça e constituintes corporais. *Rev. Bras. Zootec.* 32, 1927–1936. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982003000800017>
- Arboitte, M.Z., Restle, J., Alves Filho, D.C., Brondani, I.L., Pacheco, P.S., Menezes,

- L.F.G., Perottoni, J., 2004. Composição física da carcaça, qualidade da carne e conteúdo de colesterol no músculo Longissimus dorsi de novilhos 5/8 Nelore - 3/8 Charolês terminados em confinamento e abatidos em diferentes estádios de maturidade. *Rev. Bras. Zootec.* 33, 959–968. <https://doi.org/10.1590/s1516-35982004000400016>
- Arthur, P.F., Archer, J.A., Johnston, D.J., Herd, R.M., Richardson, E.C., Parnell, P.F., 2001. Genetic and phenotypic variance and covariance components for feed intake, feed efficiency, and other postweaning traits in Angus cattle. *J. Anim. Sci.* 79, 2805. <https://doi.org/10.2527/2001.79112805x>
- Arthur, P.F., Herd, R.M., 2005. Efficiency of feed utilisation by livestock — Implications and benefits of genetic improvement. *Can. J. Anim. Sci.* 85, 281–290. <https://doi.org/10.4141/A04-062>
- Assan, N., 2015. Assan, N. (2015). Some factors influencing dressing percentage in goat meat production. (ISSN: 2322-2433, *Scientific Journal of Review*, Volume 4, Issue 10, Pages 156-164). Review article Some factors influencing dressing percentage in goat meat. *Sci. J. Rev.* 4, 156–164. <https://doi.org/10.14196/sjr.v4i10.1940>
- Baldassini, W.A., Ramsey, J.J., Branco, R.H., Bonilha, S.F.M., Chiaratti, M.R., Chaves, A.S., Lanna, D.P.D., 2018. Estimated heat production, blood parameters and mitochondrial DNA copy number of Nelore bulls (*Bos indicus*) with high and low residual feed intake. *Livest. Sci.* 217, 140–147. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2018.10.004>
- Blaxter, K.L., Wainman, F.W., Wilson, R.S., 1961. The regulation of food intake by sheep. *Anim. Prod.* 3, 51–61. <https://doi.org/10.1017/S0003356100033766>
- Bolliger, A.P., Everds, N., 2012. Haematology of the Mouse, in: *The Laboratory Mouse*. Elsevier, pp. 331–347. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-382008-2.00014-3>
- Bonilha, S.F.M., Cyrillo, J.N. dos S.G., dos Santos, G.P., Branco, R.H., Ribeiro, E.G., Mercadante, M.E.Z., 2015. Feed efficiency, blood parameters, and ingestive behavior of young Nelore males and females. *Trop. Anim. Health Prod.* 47, 1381–1389. <https://doi.org/10.1007/s11250-015-0875-7>
- Borenstein, M., Hedges, L. V., Higgins, J.P.T., Rothstein, H., 2009. *Introduction to meta-analysis*. John Wiley & Sons.
- Borjesson, D.L., Christopher, M.M., Boyce, W.M., 2000. Biochemical and hematologic reference intervals for free-ranging desert bighorn sheep. *J. Wildl. Dis.* <https://doi.org/10.7589/0090-3558-36.2.294>
- Bottje, W., Iqbal, M., Tang, Z.X., Cawthon, D., Okimoto, R., Wing, T., Cooper, M., 2002. Association of mitochondrial function with feed efficiency within a single genetic line of male broilers. *Poult. Sci.* 81, 546–555. <https://doi.org/10.1093/ps/81.4.546>
- Bottje, W., Pumford, N.R., Ojano-Dirain, C., Iqbal, M., Lassiter, K., 2006. Feed Efficiency and Mitochondrial Function. *Poult. Sci.* 85, 8–14. <https://doi.org/10.1093/ps/85.1.8>

- Bourgon, S.L., Diel de Amorim, M., Miller, S.P., Montanholi, Y.R., 2017. Associations of blood parameters with age, feed efficiency and sampling routine in young beef bulls. *Livest. Sci.* 195, 27–37. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2016.11.003>
- Brand, T.S., Van Der Merwe, D.A., Swart, E., Hoffman, L.C., 2019. The effect of finishing period and dietary energy content on the carcass characteristics of Boer goats. *Small Rumin. Res.* 174, 110–117. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2019.03.012>
- Calce, S.E., Kurki, H.K., Weston, D.A., Gould, L., 2017. Principal component analysis in the evaluation of osteoarthritis. *Am. J. Phys. Anthropol.* 162, 476–490. <https://doi.org/10.1002/ajpa.23130>
- Cañeque, V., Perez, C., Velasco, S., Díaz, M.T., Lauzurica, S., Álvarez, I., De la Fuente, J., 2004a. Carcass and meat quality of light lambs using principal component analysis. *Meat Sci.* 67, 595–605. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2004.01.002>
- Cañeque, V., Perez, C., Velasco, S., Díaz, M.T., Lauzurica, S., Álvarez, I., Ruiz de Huidobro, F., Onega, E., De la Fuente, J., 2004b. Carcass and meat quality of light lambs using principal component analysis. *Meat Sci.* 67, 595–605. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2004.01.002>
- Casal, A., Garcia-Roche, M., Navajas, E.A., Cassina, A., Carriquiry, M., 2018. Hepatic mitochondrial function in Hereford steers with divergent residual feed intake phenotypes. *J. Anim. Sci.* <https://doi.org/10.1093/jas/sky285>
- Cesar, A.S.M., Regitano, L.C.A., Koltes, J.E., Fritz-Waters, E.R., Lanna, D.P.D., Gasparin, G., Mourão, G.B., Oliveira, P.S.N., Reecy, J.M., Coutinho, L.L., 2015. Putative Regulatory Factors Associated with Intramuscular Fat Content. *PLoS One* 10, e0128350. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0128350>
- Clare, M.K., Richard, P., Kate, K., Sinead, W., Mark, M.G., David, K., 2018. Residual feed intake phenotype and gender affect the expression of key genes of the lipogenesis pathway in subcutaneous adipose tissue of beef cattle. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* <https://doi.org/10.1186/s40104-018-0282-9>
- Cohn, L.D., Becker, B.J., 2003. How meta-analysis increases statistical power. *Psychol. Methods* 8, 243–253. <https://doi.org/10.1037/1082-989X.8.3.243>
- Cônsolo, N., Munro, J., Bourgon, S., Karrow, N., Fredeen, A., Martell, J., Montanholi, Y., 2018. Associations of Blood Analysis with Feed Efficiency and Developmental Stage in Grass-Fed Beef Heifers. *Animals* 8, 133. <https://doi.org/10.3390/ani8080133>
- Corazzin, M., Del Bianco, S., Bovolenta, S., Piasentier, E., 2019. Carcass Characteristics and Meat Quality of Sheep and Goat, in: *More than Beef, Pork and Chicken – The Production, Processing, and Quality Traits of Other Sources of Meat for Human Diet*. Springer International Publishing, Cham, pp. 119–165. https://doi.org/10.1007/978-3-030-05484-7_6
- Costa, E.C., Restle, J., Vaz, F.N., Celetino, D., Filho, A., Augusto, R., Carvalho B., L., Kuss, F., 2002. Características da Carcaça de Novilhos Red Angus Superprecoces Abatidos com Diferentes Pesos Carcass Traits of Young Red

- Angus Steers Slaughtered with Different Weights 31, 119–128.
- Crowell, J.W., Smith, E.E., 1967. Determinant of the optimal hematocrit. *J. Appl. Physiol.* 22, 501–504. <https://doi.org/10.1152/jappl.1967.22.3.501>
- da Silva, G.S., Chaves Vêras, A.S., de Andrade Ferreira, M., Moreira Dutra, W., Menezes Wanderley Neves, M.L., Oliveira Souza, E.J., Ramos de Carvalho, F.F., de Lima, D.M., 2015. Performance and carcass yield of crossbred dairy steers fed diets with different levels of concentrate. *Trop. Anim. Health Prod.* 47, 1307–1312. <https://doi.org/10.1007/s11250-015-0864-x>
- Darhan, H., Zoda, A., Kikusato, M., Toyomizu, M., Katoh, K., Roh, S. gun, Ogawa, S., Uemoto, Y., Satoh, M., Suzuki, K., 2019. Correlations between mitochondrial respiration activity and residual feed intake after divergent genetic selection for high- and low- oxygen consumption in mice. *Anim. Sci. J.* <https://doi.org/10.1111/asj.13210>
- DerSimonian, R., Laird, N., 1986. Meta-analysis in clinical trials. *Control. Clin. Trials* 7, 177–188. [https://doi.org/10.1016/0197-2456\(86\)90046-2](https://doi.org/10.1016/0197-2456(86)90046-2)
- Dudi, K., Datt, C., 2015. Relationship of Residual Feed Intake With Blood Metabolites and Hormones in Sahiwal Female Calves. *Forage Res.*
- Ebrahimi, R., Ahmadi, H.R., Zamiri, M.J., Rowghani, E., 2007. Effect of Energy and Protein Levels on Feedlot Performance and Carcass Characteristics of Mehraban Ram Lambs. *Pakistan J. Biol. Sci.* 10, 1679–1684. <https://doi.org/10.3923/pjbs.2007.1679.1684>
- Egger, M., Smith, G.D., Schneider, M., Minder, C., 1997. Bias in meta-analysis detected by a simple, graphical test. *Br. Med. J.* <https://doi.org/10.1136/bmj.315.7109.629>
- Evans, J. V., Turner, H.G., 1965. Interrelationships of Erythrocyte Characters and Other Characters of. *Aust. J. Biol. Sci.* 18, 124–139. <https://doi.org/10.1071/bi9650124>
- Fernandez, E.E., Oltjen, J.W., Sainz, R.D., 2020. Mitochondrial abundance and function in muscle from beef steers with divergent residual feed intakes. *Animal* 14, 560–565. <https://doi.org/10.1017/S1751731119002209>
- Fitzhugh, H.A., Taylor, S.C.S., 1971. Genetic Analysis of Degree of Maturity. *J. Anim. Sci.* 33, 717–725. <https://doi.org/10.2527/jas1971.334717x>
- Fitzsimons, C., Kenny, D.A., Deighton, M.H., Fahey, A.G., McGee, M., 2013. Methane emissions, body composition, and rumen fermentation traits of beef heifers differing in residual feed intake¹. *J. Anim. Sci.* 91, 5789–5800. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-6956>
- Fox, D.G., Tedeschi, L.O., Guioy, P.J., 2001. Determining Feed Intake and Feed Efficiency of Individual Cattle Fed in Groups, in: *Beef Improvement Federation.*
- Garcia, C.A., Costa, C., Monteiro, A.L.G., Neres, M.A., Rosa, G.J.M., 2003. Níveis de energia no desempenho e características da carcaça de cordeiros alimentados em creep feeding. *Rev. Bras. Zootec.* 32, 1371–1379. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982003000600012>

- Gentleman, R., Hornik, K., Parmigiani, G., 2011. *An Introduction to Applied Multivariate Analysis with R*-Springer-Verlag New York (2011).
- Gomes, R. da C., Siqueira, R.F. de, Ballou, M.A., Stella, T.R., Leme, P.R., 2011. Hematological profile of beef cattle with divergent residual feed intake, following feed deprivation. *Pesqui. Agropecuária Bras.* 46, 1105–1111. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011000900019>
- Gomes, R.C., Sainz, R.D., Silva, S.L., César, M.C., Bonin, M.N., Leme, P.R., 2012. Feedlot performance, feed efficiency reranking, carcass traits, body composition, energy requirements, meat quality and calpain system activity in Nellore steers with low and high residual feed intake. *Livest. Sci.* 150, 265–273. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2012.09.012>
- Grion, A.L., 2012. Parâmetros genéticos de medidas indicadoras de eficiência alimentar de bovinos de corte. *Inst. Zootec. Programa Pós-Graduação Em Produção Anim. Sustentável.*
- Guedes, D.G.P., Ribeiro, M.N., Carvalho, F.F.R. de, 2018. Multivariate techniques in the analysis of carcass traits of Morada Nova breed sheep. *Ciência Rural* 48. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20170746>
- Gustin, P., Detry, B., Robert, A., Cao, M.L., Lessire, F., Cambier, C., Katz, V., Ansay, M., Frans, A., Clerbaux, T., 1997. Influence of age and breed on the binding of oxygen to red blood cells of bovine calves. *J. Appl. Physiol.* 82, 784–790. <https://doi.org/10.1152/jappl.1997.82.3.784>
- Hegarty, R.S., Goopy, J.P., Herd, R.M., McCorkell, B., 2007. Cattle selected for lower residual feed intake have reduced daily methane production^{1,2}. *J. Anim. Sci.* 85, 1479–1486. <https://doi.org/10.2527/jas.2006-236>
- Helms, C.C., Gladwin, M.T., Kim-Shapiro, D.B., 2018. Erythrocytes and vascular function: Oxygen and nitric oxide. *Front. Physiol.* <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00125>
- Herd, R.M., Arthur, P.F., 2009. Physiological basis for residual feed intake¹. *J. Anim. Sci.* 87, E64–E71. <https://doi.org/10.2527/jas.2008-1345>
- Herd, R.M., Bishop, S.C., 2000. Genetic variation in residual feed intake and its association with other production traits in British Hereford cattle. *Livest. Prod. Sci.* 63, 111–119. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(99\)00122-0](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(99)00122-0)
- Herd, R.M., Oddy, V.H., Richardson, E.C., 2004. Biological basis for variation in residual feed intake in beef cattle. 1. Review of potential mechanisms. *Aust. J. Exp. Agric.* 44, 423. <https://doi.org/10.1071/EA02220>
- Higgins, J.P.T., 2003. Measuring inconsistency in meta-analyses. *BMJ* 327, 557–560. <https://doi.org/10.1136/bmj.327.7414.557>
- Hongyu, K., Sandanielo, V.L.M., Oliveira-Jr, G.J., 2015. Análise de Componentes Principais: resumo teórico , aplicação e interpretação Principal Component Analysis: theory , interpretations and applications. *E&S - Eng. Sci.* 1, 83–90. <https://doi.org/10.18607/ES20165053>
- Hosseini, S.M., Akbary, S.M., Maheri-Sis, N., Aghsaghali, A.M., 2008. Effect of

- different energy levels of diet on feed efficiency, growth rate and carcass characteristics of fattening bahmaei lambs. *J. Anim. Vet. Adv.*
- Istasse, L., Van Eenaeme, C., Gabriel, A., Clinquart, A., Maghuin-Rogister, G., Bienfait, J.M., 1990. The relationship between carcass characteristics, plasma hormones and metabolites in young fattening bulls. *Vet. Res. Commun.* <https://doi.org/10.1007/BF00346379>
- Jaborek, J.R., Zerby, H.N., Moeller, S.J., Wick, M.P., Fluharty, F.L., Garza, H., Garcia, L.G., England, E.M., 2018. Effect of energy source and level, and animal age and sex on meat characteristics of sheep. *Small Rumin. Res.* 166, 53–60. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2018.07.005>
- Jolliffe, I.T., Cadima, J., 2016. Principal component analysis: a review and recent developments. *Philos. Trans. R. Soc. A Math. Phys. Eng. Sci.* 374, 20150202. <https://doi.org/10.1098/rsta.2015.0202>
- Jones, F.M., Phillips, F.A., Naylor, T., Mercer, N.B., 2011. Methane emissions from grazing Angus beef cows selected for divergent residual feed intake. *Anim. Feed Sci. Technol.* <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.020>
- Jones, M.L., Allison, R.W., 2007. Evaluation of the Ruminant Complete Blood Cell Count. *Vet. Clin. North Am. - Food Anim. Pract.* 23, 377–402. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2007.07.002>
- Josse, J., Husson, F., 2016. missMDA: A package for handling missing values in multivariate data analysis. *J. Stat. Softw.* <https://doi.org/10.18637/jss.v070.i01>
- Josse, J., Husson, F., 2012. Handling missing values in exploratory multivariate data analysis methods. *J. la Société Française Stat.* 17, 1–22.
- Karisa, B., Moore, S., Plastow, G., 2014. Analysis of biological networks and biological pathways associated with residual feed intake in beef cattle. *Anim. Sci. J.* 85, 374–387. <https://doi.org/10.1111/asj.12159>
- Karisa, B.K., Thomson, J., Wang, Z., Li, C., Montanholi, Y.R., Miller, S.P., Moore, S.S., Plastow, G.S., 2014. Plasma metabolites associated with residual feed intake and other productivity performance traits in beef cattle. *Livest. Sci.* 165, 200–211. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2014.03.002>
- Kelly, A.K., McGee, M., Crews, D.H., Fahey, A.G., Wylie, A.R., Kenny, D.A., 2010a. Effect of divergence in residual feed intake on feeding behavior, blood metabolic variables, and body composition traits in growing beef heifers1. *J. Anim. Sci.* 88, 109–123. <https://doi.org/10.2527/jas.2009-2196>
- Kelly, A.K., McGee, M., Crews, D.H., Sweeney, T., Boland, T.M., Kenny, D.A., 2010b. Repeatability of feed efficiency, carcass ultrasound, feeding behavior, and blood metabolic variables in finishing heifers divergently selected for residual feed intake. *J. Anim. Sci.* <https://doi.org/10.2527/jas.2009-2700>
- Kennedy, G.C., Mitra, J., 1963. Hypothalamic control of energy balance and the reproductive cycle in the rat. *J. Physiol.* 166, 395–407. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1963.sp007111>
- Khansefid, M., Millen, C.A., Chen, Y., Pryce, J.E., Chamberlain, A.J., Vander Jagt,

- C.J., Gondro, C., Goddard, M.E., 2017. Gene expression analysis of blood, liver, and muscle in cattle divergently selected for high and low residual feed intake1. *J. Anim. Sci.* 95, 4764–4775. <https://doi.org/10.2527/jas2016.1320>
- Koch, R.M., Swiger, L.A., Chambers, D., Gregory, K.E., 1963. Efficiency of Feed Use in Beef Cattle. *J. Anim. Sci.* 22, 486–494. <https://doi.org/10.2527/jas1963.222486x>
- Kolath, W.H., Kerley, M.S., Golden, J.W., Keisler, D.H., 2006. The relationship between mitochondrial function and residual feed intake in Angus steers. *J. Anim. Sci.* <https://doi.org/10.2527/2006.844861x>
- Kotsampasi, Bampidis, V.A., Tsiaousi, A., Christodoulou, C., Petrotos, K., Amvrosiadis, I., Fragioudakis, N., Christodoulou, V., 2017. Effects of dietary partly destoned exhausted olive cake supplementation on performance, carcass characteristics and meat quality of growing lambs. *Small Rumin. Res.* <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2017.08.013>
- Koven, A.L., Beard, H.H., 1939. Creatine-creatinine metabolism and the hormones II. Progesterin and antuitrin-t. *Endocrinology.* <https://doi.org/10.1210/endo-25-2-221>
- Kumar, S., Choudhury, P.K., Carro, M.D., Griffith, G.W., Dagar, S.S., Puniya, M., Calabro, S., Ravella, S.R., Dhewa, T., Upadhyay, R.C., Sirohi, S.K., Kundu, S.S., Wanapat, M., Puniya, A.K., 2014. New aspects and strategies for methane mitigation from ruminants. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 98, 31–44. <https://doi.org/10.1007/s00253-013-5365-0>
- Lawrence, P., Kenny, D.A., Earley, B., McGee, M., 2012. Grazed grass herbage intake and performance of beef heifers with predetermined phenotypic residual feed intake classification. *Animal.* <https://doi.org/10.1017/S1751731112000559>
- Legramanti Rodrigues, C., Ziegelmann, P.K., 2010. Metanálise: Um guia prático [meta-analysis: a practical guide]. *Clin Biomed Res* 30, 436–447.
- Light, R.J., Pillemer, D.B., 1985. Summing up: The Science of Reviewing Research. *J. Policy Anal. Manag.* 5, 164. <https://doi.org/10.2307/3323437>
- Lopes, M.A., Magalhães, G.P., 2005. Análise da rentabilidade da terminação de bovinos de corte em condições de confinamento: um estudo de caso. *Arq. Bras. Med. Veterinária e Zootec.* <https://doi.org/10.1590/s0102-09352005000300016>
- Lu, C.D., Potchoiba, M.J., 1990. Feed intake and weight gain of growing goats fed diets of various energy and protein levels. *J. Anim. Sci.* 68, 1751. <https://doi.org/10.2527/1990.6861751x>
- Mahgoub, O., Lu, C.D., Early, R.J., 2000. Effects of dietary energy density on feed intake, body weight gain and carcass chemical composition of Omani growing lambs. *Small Rumin. Res.* 37, 35–42. [https://doi.org/10.1016/S0921-4488\(99\)00132-7](https://doi.org/10.1016/S0921-4488(99)00132-7)
- Malafaia, P., Granato, T.A.L., Costa, R.M., de Souza, V.C., Costa, D.F.A., Tokarnia, C.H., 2016. Major health problems and their economic impact on beef cattle under two different feedlot systems in Brazil. *Pesqui. Vet. Bras.* 36, 837–843.

<https://doi.org/10.1590/S0100-736X2016000900008>

- Manuel, M., Cavani, L., Menezes, T.J., Millen, D.D., Andrighetto, C., Lupatini, G.C., Fonseca, R., 2019. Estimação de parâmetros genéticos para características de pesos e pesos metabólicos na desmama e pós-desmama em bovinos Brahman. *Arq. Bras. Med. Veterinária e Zootec.* 71, 274–280. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-9758>
- McCraab, G.J., Hunter, R.A., 1999. Prediction of methane emissions from beef cattle in tropical production systems. *Aust. J. Agric. Res.* 50, 1335. <https://doi.org/10.1071/AR99009>
- Meglen, R.R., 1991. Examining large databases: A chemometric approach using principal component analysis. *J. Chemom.* 5, 163–179. <https://doi.org/10.1002/cem.1180050305>
- Melsen, W.G., Bootsma, M.C.J., Rovers, M.M., Bonten, M.J.M., 2014. The effects of clinical and statistical heterogeneity on the predictive values of results from meta-analyses. *Clin. Microbiol. Infect.* 20, 123–129. <https://doi.org/10.1111/1469-0691.12494>
- Mercadante, M.E.Z., Caliman, A.P. de M., Canesin, R.C., Bonilha, S.F.M., Berndt, A., Frighetto, R.T.S., Magnani, E., Branco, R.H., 2015. Relationship between residual feed intake and enteric methane emission in Nellore cattle. *Rev. Bras. Zootec.* 44, 255–262. <https://doi.org/10.1590/S1806-92902015000700004>
- Meissner, H.H., Smuts, M., Coertze, R.J., 1995. Characteristics and efficiency of fast-growing feedlot steers fed different dietary energy concentrations. *J. Anim. Sci.* 73, 931–936. <https://doi.org/10.2527/1995.734931x>
- Michal, J.J., Zhang, Z.W., Gaskins, C.T., Jiang, Z., 2006. The bovine fatty acid binding protein 4 gene is significantly associated with marbling and subcutaneous fat depth in Wagyu x Limousin F2 crosses. *Anim. Genet.* 37, 400–2. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2052.2006.01464.x>
- Minias, P., 2020. Ecology and Evolution of Blood Oxygen-Carrying Capacity in Birds. *Am. Nat.* 195, 788–801. <https://doi.org/10.1086/707720>
- Montanholi, Y.R., Odongo, N.E., Swanson, K.C., Schenkel, F.S., McBride, B.W., Miller, S.P., 2008. Application of infrared thermography as an indicator of heat and methane production and its use in the study of skin temperature in response to physiological events in dairy cattle (*Bos taurus*). *J. Therm. Biol.* <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2008.09.001>
- Moore, S.S., Mujibi, F.D., Sherman, E.L., 2009. Molecular basis for residual feed intake in beef cattle¹. *J. Anim. Sci.* 87, E41–E47. <https://doi.org/10.2527/jas.2008-1418>
- Moraes, G.F. de, Abreu, L.R.A., Ferreira, I.C., Pereira, I.G., 2017. Genetic analysis of residual feed intake adjusted for fat and carcass and performance traits in a Nellore herd. *Ciência Rural* 47. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20151505>
- Moraes, G.F., Abreu, L.R.A., Ferreira, I.C., Pereira, I.G., 2017. Análise genética do consumo alimentar residual ajustado para gordura e de características de

- carcaça e desempenho em um rebanho Nelore. *Cienc. Rural* 47. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20151505>
- Mueller, M., D'Addario, M., Egger, M., Cevallos, M., Dekkers, O., Mugglin, C., Scott, P., 2018. Methods to systematically review and meta-analyse observational studies: a systematic scoping review of recommendations. *BMC Med. Res. Methodol.* 18, 44. <https://doi.org/10.1186/s12874-018-0495-9>
- Murphy, W.G., 2014. The sex difference in haemoglobin levels in adults — Mechanisms, causes, and consequences. *Blood Rev.* 28, 41–47. <https://doi.org/10.1016/j.blre.2013.12.003>
- Nascimento, C.F., Branco, R.H., Bonilha, S.F.M., Cyrillo, J.N.S.G., Negrão, J.A., Mercadante, M.E.Z., 2015. Residual feed intake and blood variables in young Nelore cattle. *J. Anim. Sci.* 93, 1318–1326. <https://doi.org/10.2527/jas.2014-8368>
- Nascimento, M.L., Souza, A.R.D.L., Chaves, A.S., Cesar, A.S.M., Tullio, R.R., Medeiros, S.R., Mourão, G.B., Rosa, A.N., Feijó, G.L.D., Alencar, M.M., Lanna, D.P.D., 2016. Feed efficiency indexes and their relationships with carcass, non-carcass and meat quality traits in Nelore steers. *Meat Sci.* 116, 78–85. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.01.012>
- Oliveira, C.A., Millen, D.D., 2014. Survey of the nutritional recommendations and management practices adopted by feedlot cattle nutritionists in Brazil. *Anim. Feed Sci. Technol.* 197, 64–75. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.08.010>
- Owens, F.N., Dubeski, P., Hanson, C.F., 1993. Factors that alter the growth and development of ruminants. *J. Anim. Sci.* 71, 3138–3150. <https://doi.org/10.2527/1993.71113138x>
- Panero, F.S., Vieira, M.F.P., Cruz, Â.M.F., Moura, M.F. V., Silva, H.E.B. da, 2009. Aplicação da análise exploratória de dados na discriminação geográfica do quiabo do Rio Grande do Norte e Pernambuco. *Eclética Química* 34, 33–40. <https://doi.org/10.1590/s0100-46702009000300004>
- Pereira, G.F., Lima, P.O., Assis, L.C.S.L.C., Emerenciano Neto, J.V., 2018. Consumo de nutrientes, comportamento ingestivo e desempenho de ovinos alimentados com feno de gramíneas tropicais em diferentes intervalos entre cortes. *Arq. Bras. Med. Veterinária e Zootec.* 70, 897–904. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-9775>
- Piety, N.Z., Reinahart, W.H., Stutz, J., Shevkoplyas, S.S., 2017. Optimal hematocrit in an artificial microvascular network. *Transfusion* 176, 139–148. <https://doi.org/10.1111/trf.14213>
- Ramírez-Retamal, J., Morales, R., Martínez, M.E., de la Barra, R., 2013. Effect of breed and feeding on the carcass characteristics of the Chilote breed lamb. *Chil. J. Agric. Res.* 73, 48–54. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392013000100007>
- Resende, K.T., Teixeira, I.A.M.A., Fernandes, M.H.M.R., 2011. Metabolismo de energia., in: BERCHIELLI, T.T., PIRES, A.V., OLIVEIRA, S. (Eds.), *Nutrição de Ruminantes*. Funep, Jaboticabal, pp. 256–600.

- Restle, J., Da Silveira Keplin, L.A., Vaz, F.N., 1997. Quantitative carcass traits of charolais steers, slaughtered with different weights. *Pesqui. Agropecu. Bras.* 32, 851–856.
- Richardson, E.C., Herd, R.M., 2004. Biological basis for variation in residual feed intake in beef cattle. 2. Synthesis of results following divergent selection. *Aust. J. Exp. Agric.* 44, 431. <https://doi.org/10.1071/EA02221>
- Richardson, E.C., Herd, R.M., Archer, J.A., Arthur, P.F., 2004. Metabolic differences in Angus steers divergently selected for residual feed intake. *Aust. J. Exp. Agric.* 44, 441. <https://doi.org/10.1071/EA02219>
- Roman-Garcia, Y., Firkins, J.L., 2016. Meta-analysis of postruminal microbial nitrogen flows in dairy cattle. II. Approaches to and implications of more mechanistic prediction. *J. Dairy Sci.* <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10662>
- Rosa, C.A.P., 2012. *História da Ciencia - A Ciência Moderna*. Brasília: FUNAG, pp. 07–403.
- Salah, N., Sauvant, D., Archimède, H., 2014. Nutritional requirements of sheep, goats and cattle in warm climates: A meta-analysis. *Animal.* <https://doi.org/10.1017/S1751731114001153>
- Salter, A.M., 2013. Impact of consumption of animal products on cardiovascular disease, diabetes, and cancer in developed countries. *Anim. Front.* 3, 20–27. <https://doi.org/10.2527/af.2013-0004>
- Santana, M.H.A., Oliveira, G.A., Gomes, R.C., Silva, S.L., Leme, P.R., Stella, T.R., Mattos, E.C., Rossi, P., Baldi, F.S., Eler, J.P., Ferraz, J.B.S., 2014. Genetic parameter estimates for feed efficiency and dry matter intake and their association with growth and carcass traits in Nellore cattle. *Livest. Sci.* 167, 80–85. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2014.06.002>
- Santos, R. de O., Gorgulho, B.M., Castro, M.A. de, Fisberg, R.M., Marchioni, D.M., Baltar, V.T., 2019. Principal Component Analysis and Factor Analysis: differences and similarities in Nutritional Epidemiology application. *Rev. Bras. Epidemiol.* 22. <https://doi.org/10.1590/1980-549720190041>
- Sauvant, D., Schmidely, P., Daudin, J.J., St-Pierre, N.R., 2008. Meta-analyses of experimental data in animal nutrition, in: *Animal.* <https://doi.org/10.1017/S1751731108002280>
- Schertl, P., Braun, H.P., 2014. Respiratory electron transfer pathways in plant mitochondria. *Front. Plant Sci.* <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00163>
- Shirima, E.J.M., Mtenga, L.A., Kimambo, A.E., Laswai, G.H., Mgheni, D.M., Mushi, D.E., Shija, D.S., Safari, J.G., 2014. Influence of age at entry and level of concentrate feeding on growth and carcass characteristics of feedlot-finished Tanzanian long-fat-tailed sheep. *Trop. Anim. Health Prod.* 46, 815–822. <https://doi.org/10.1007/s11250-014-0570-0>
- Silva, F.M.P., Panjota, S.O.S., Domingues, F.N., Rego, C., Faturi, C., 2021. Coconut meal inclusion in high concentrate sheep diets affects feed digestibility and intake 2125, 692–701.

- Silva, L.F.C. e, Valadares Filho, S. de C., Chizzotti, M.L., Rotta, P.P., Prados, L.F., Valadares, R.F.D., Zanetti, D., Braga, J.M. da S., 2012. Creatinine excretion and relationship with body weight of Nellore cattle. *Rev. Bras. Zootec.* 41, 807–810. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982012000300046>
- Silva, R.R., Borges, A.L.C.C., Carvalho, P.H.A., Souza, A.S., Vivenza, P.A. D., Silva, J.S. da, Lage, H.F., Ferreira, A.L., Gonçalves, L.C., Saliba, E.O.S., Borges, I., Campos, W.E., Rodriguez, N.M., 2018. Respirometry and Ruminant Nutrition, in: *Animal Husbandry and Nutrition*. InTech. <https://doi.org/10.5772/intechopen.73009>
- Silva Sobrinho, A.G., Machado, M.R.F., Gastaldi, K.A., Garcia, C.A., 2002. Efeitos da relação volumoso: concentrado e do peso ao abate sobre os componentes da perna de cordeiros Ile de France x Ideal confinados\rEffects of roughage: concentrate ratio and slaughter weight on leg components of Ile de France x Ideal feedlot lambs. *R. Bras. Zootec.* 2002, 1017–1023.
- Song, S., Wu, J., Zhao, S., Casper, D.P., Zhang, L., He, B., Lang, X., Wang, C., Gong, X., Wang, F., Liu, L., 2018. The effect of periodic energy restriction on growth performance, serum biochemical indices, and meat quality in sheep. *J. Anim. Sci.* 96, 4251–4263. <https://doi.org/10.1093/jas/sky299>
- Song, S.Z., Wu, J.P., Zhao, S.G., Casper, D.P., He, B., Liu, T., Lang, X., Gong, X.Y., Liu, L.S., 2017. The effect of energy restriction on fatty acid profiles of longissimus dorsi and tissue adipose depots in sheep1. *J. Anim. Sci.* 95, 3940–3948. <https://doi.org/10.2527/jas.2016.1235>
- Stick, D.A., Davis, M.E., Loerch, S.C., Simmen, R.C., 1998. Relationship between blood serum insulin-like growth factor I concentration and postweaning feed efficiency of crossbred cattle at three levels of dietary intake. *J. Anim. Sci.* 76, 498. <https://doi.org/10.2527/1998.762498x>
- Viechtbauer, W., 2010. Conducting meta-analyses in R with the metafor. *J. Stat. Softw.* <https://doi.org/10.18637/jss.v036.i03>
- Wang, Q., Wang, Y., Hussain, T., Dai, C., Li, J., Huang, P., Li, Y., Ding, X., Huang, J., Ji, F., Zhou, H., Yang, H., 2020a. Effects of dietary energy level on growth performance, blood parameters and meat quality in fattening male Hu lambs. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. (Berl.)* 104, 418–430. <https://doi.org/10.1111/jpn.13278>
- Wang, Q., Wang, Y., Hussain, T., Dai, C., Li, J., Huang, P., Li, Y., Ding, X., Huang, J., Ji, F., Zhou, H., Yang, H., 2020b. Effects of dietary energy level on growth performance, blood parameters and meat quality in fattening male Hu lambs. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. (Berl.)* 104, 418–430. <https://doi.org/10.1111/jpn.13278>
- Wang, X., Yan, S., Shi, B., Zhang, Y., Guo, X., 2019. Effects of concentrate supplementation on fatty acid composition and expression of lipogenic genes of meat and adipose tissues in grazing lambs. *Ital. J. Anim. Sci.* <https://doi.org/10.1080/1828051X.2018.1547666>
- Weston, A.R., Rogers, R.W., Althen, T.G., 2002. Review: The Role of Collagen in

- Meat Tenderness. *Prof. Anim. Sci.* 18, 107–111.
[https://doi.org/10.15232/S1080-7446\(15\)31497-2](https://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)31497-2)
- Winslow, R.M., 2007. The role of hemoglobin oxygen affinity in oxygen transport at high altitude. *Respir. Physiol. Neurobiol.* 158, 121–127.
<https://doi.org/10.1016/j.resp.2007.03.011>
- Woessner, J.F., 1961. The determination of hydroxyproline in tissue and protein samples containing small proportions of this imino acid. *Arch. Biochem. Biophys.* 93, 440–447. [https://doi.org/10.1016/0003-9861\(61\)90291-0](https://doi.org/10.1016/0003-9861(61)90291-0)
- Wood, T.B., Capstick, J.W., 1926. The maintenance requirement of the adult sheep. *J. Agric. Sci.* 16, 325–333. <https://doi.org/10.1017/S002185960001830X>
- Zhang, X., Wang, W., Mo, F., La, Y., Li, C., Li, F., 2017. Association of residual feed intake with growth and slaughtering performance, blood metabolism, and body composition in growing lambs. *Sci. Rep.* 7, 12681.
<https://doi.org/10.1038/s41598-017-13042-7>
- Zhao, R., Jiang, S., Zhang, L., Yu, Z., 2019. Mitochondrial electron transport chain, ROS generation and uncoupling (Review). *Int. J. Mol. Med.*
<https://doi.org/10.3892/ijmm.2019.4188>
- Zulkifli, N.A., Naik, M., Pitchford, W.S., Bottema, C.D.K., 2008. Cattle residual feed intake candidate genes. Roseworthy, Australia.

ANEXO 01

APLICAÇÕES PRÁTICAS DOS ACHADOS DESTES ESTUDOS

Em termos práticos, a associação de metabólitos sanguíneos aos animais mais eficientes, isto é, com menor consumo residual pode servir como ferramenta para melhoria do plantel sem que haja necessidade de realização de experimentos ou mapeamento genético do rebanho.

Em relação ao controle de energia, os achados deste estudo demonstram que há maneiras de melhoria na qualidade de carne e da carcaça em função da dieta ofertada aos animais. Entretanto, em função da análise de componentes principais ser um método inferencial, mais estudos são necessários para melhor entender outros mecanismos envolvendo a energia da dieta e qualidade de carne ovina.