

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a)
autor(a), o texto completo desta tese
será disponibilizado somente a partir
de 06/01/2024.

**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.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

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.

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 me. *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>
- McCrabb, 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.