

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a)
autor(a), o texto completo desta tese
será disponibilizado somente a partir
de 25/09/2027.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP

CÂMPUS DE JABOTICABAL

**DINÂMICA NUTRICIONAL DA LISINA EM SUÍNOS MACHOS
IMUNOCASTRADOS: RESTRIÇÃO, GANHO
COMPENSATÓRIO E VARIABILIDADE DAS EXIGÊNCIAS**

Cleslei Alisson Silva

Zootecnista

2025

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL

DINÂMICA NUTRICIONAL DA LISINA EM SUÍNOS MACHOS
IMUNOCASTRADOS: RESTRIÇÃO, GANHO
COMPENSATÓRIO E VARIABILIDADE DAS EXIGÊNCIAS

Discente: Cleslei Alisson Silva

Orientador: Prof. Dr. Luciano Hauschild

Coorientador: Prof. Dr. Danilo Alves Marçal

Coorientador: Prof. Dra. Alícia Zem Fraga

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 Ciência Animal.

S586d

Silva, Cleslei Alisson

Dinâmica nutricional da lisina digestível ileal estandardizada em suínos machos imunocastrados: restrição, ganho compensatório e variabilidade das exigências / Cleslei Alisson Silva. -- Jaboticabal, 2025

92 p. : il., tabs.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal

Orientador: Luciano Hauschild

Coorientador: Danilo Alves Marçal

1. Nutrição animal. 2. Lisina na nutrição animal. 3. Suínos. 4. Restrição nutricional. I. Título.

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

Esta pesquisa visa esclarecer as respostas da dinâmica nutricional da lisina em suínos machos inteiros até se tornarem imunocastrados. Ao investigar fatores como diferentes níveis de restrição de lisina, períodos de realimentação e ganho compensatório, e a mudança de categoria sexual induzida pela imunocastração, este estudo contribuirá para que os nutricionistas possam traçar estratégias de formulação de dietas através do melhor entendimento simultâneo dessa dinâmica de fatores. Os resultados obtidos nesta pesquisa podem colaborar com o avanço da nutrição de suínos em crescimento e terminação, fornecendo dados concretos e simulados de um sistema de produção comercial.

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

This research aims to clarify the dynamics of lysine nutrition in entire male pigs as they transition to immunocastrated males. By investigating factors such as different levels of lysine restriction, refeeding periods and compensatory growth, and the shift in sexual category induced by immunocastration, this study will help nutritionists develop diet formulation strategies through a better and integrated understanding of these interacting factors. The findings from this research may support advancements in growing–finishing pig nutrition by providing both empirical and simulated data reflective of a commercial livestock system.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: DINÂMICA NUTRICIONAL DA LISINA DIGESTÍVEL ILEAL ESTANDARDIZADA EM SUÍNOS MACHOS IMUNOCASTRADOS: RESTRIÇÃO, GANHO COMPENSATÓRIO E VARIABILIDADE DAS EXIGÊNCIAS

AUTOR: CLESLEI ALISSON SILVA

ORIENTADOR: LUCIANO HAUSCHILD

COORIENTADOR: DANILO ALVES MARÇAL

COORIENTADORA: ALÍCIA ZEM FRAGA

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

Documento assinado digitalmente
 **LUCIANO HAUSCHILD**
Data: 13/10/2025 16:44:04-0300
Verifique em <https://validar.itf.gov.br>

Prof. Dr. LUCIANO HAUSCHILD (Participação Virtual)
Departamento de Zootecnia / FCAV UNESP Jaboticabal

Documento assinado digitalmente
 **URBANO DOS SANTOS RUIZ**
Data: 08/10/2025 17:39:56-0300
Verifique em <https://validar.itf.gov.br>

Prof. Dr. URBANO DOS SANTOS RUIZ (Participação Virtual)
Departamento de Zootecnia / ESALQ USP Piracicaba/SP

Documento assinado digitalmente
 **NILVA KAZUE SAKOMURA**
Data: 13/10/2025 16:01:31-0300
Verifique em <https://validar.itf.gov.br>

Profa. Dra. NILVA KAZUE SAKOMURA (Participação Virtual)
Departamento de Zootecnia / FCAV UNESP Jaboticabal

Documento assinado digitalmente
 **INES ANDRETTA**
Data: 04/10/2025 06:51:20-0300
Verifique em <https://validar.itf.gov.br>

Profa. Dra. INES ANDRETTA (Participação Virtual)
Departamento de Zootecnia / Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) - Porto Alegre/RS



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal



Documento assinado digitalmente
CHARLES KIEFER
Data: 07/10/2025 08:34:45-0300
Verifique em <https://validar.itf.gov.br>

Prof. Dr. CHARLES KIEFER (Participação Virtual)
Departamento de Zootecnia / Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS) - Campo Grande/MS

Jaboticabal, 25 de setembro de 2025

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Cleslei Alisson Silva nascido em Uberlândia – MG, no dia 21 de novembro de 1994, graduou-se em Zootecnia na Universidade Federal de Uberlândia – UFU em 2017. Durante a graduação foi membro por três anos do Programa de Educação Tutorial – PET do curso de Zootecnia da UFU sob orientação da Profa. Dra. Natascha Almeida Marques da Silva. No ano de 2019 ingressou no curso de mestrado pelo Programa de Pós-graduação em Zootecnia, na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (FCAV–UNESP), campus de Jaboticabal, como bolsista do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, nº 135572/2019-3). Obteve o título de mestre em Zootecnia em 28 de Julho de 2021 sob orientação do professor Dr. Luciano Hauschild. Iniciou seu doutorado no mês de Agosto de 2021 sob a orientação também do Prof. Dr. Luciano Hauschild, onde também foi bolsista do CNPq (nº 162945/2021-3). Durante os períodos de Setembro de 2023 a Setembro de 2024 realizou um ano de doutorado sanduíche na Iowa State University (ISU) em parceria privada com a Carthage Veterinary Service (CVS) sob a supervisão do Prof. Dr. Gustavo de Sousa e Silva e Dr. Dustin Boler.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela vida a mim concedida.

À minha mãe Sirlene, por ser o meu amor incondicional e me apoiar em todos os meus passos, escolhas e desafios.

Ao meu finado pai Eurípedes, por me proporcionar ter o meu bem maior – minha família.

À minha irmã Rafaela, por ser também meu amor incondicional e estar sempre ao meu lado.

À minha família, em especial meus padrinhos e primo por fazerem parte das minhas maiores conquistas.

Aos meus professores da graduação, pelos ensinamentos profissionais e pessoais a mim transmitidos.

À UNESP – FCAV, pelo programa de pós-graduação e todo o suporte prestado a mim como estudante.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pela bolsa de doutorado (nº 162945/2021-3).

À Fundação de Amparo à pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, pelo auxílio à pesquisa JP – FAPESP (nº 18/15559-7).

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, pelo apoio para realização do presente trabalho.

Às empresas Agrocere PIC, Seara Alimentos e Evonik Industries, pelo financiamento, cooperação e doação de insumos.

Ao meu orientador do mestrado e doutorado Prof. Dr. Luciano Hauschild pela confiança, incentivo, ensinamentos, ajuda e parceria em cada desafio.

Aos meus co-orientadores e amigos Prof. Dr. Danilo Alves Marçal e Prof. Dra. Alícia Zem Fraga pela colaboração na minha caminhada para me tornar doutor.

Aos meus amigos de pós-graduação (todos entre 2019 e 2025), estagiários e o funcionário do laboratório de estudos em suinocultura José Segecic. Deixo registrada a minha eterna gratidão.

À família “Oscar Alho” pelos momentos vivenciados e rede de apoio durante a pandemia.

À família “Sueka e Tendel” pelos momentos de alegria.

Aos meus amigos Alini e Lucas por serem parte da minha família em Jaboticabal.

À família “Bassi Scarpim” pela amizade e consideração.

À Iowa State University e Carthage Veterinary Service, pela parceria de trabalho e suporte durante o meu período sanduíche.

Ao professor Dr. Gustavo de Sousa e Silva, por me receber e confiar no meu trabalho nos Estados Unidos.

À todas as pessoas que conheci e tornaram-se amigos durante o meu período de estágio nos Estados Unidos, responsáveis por um dos períodos de maior crescimento profissional e pessoal da minha vida até então.

Aos professores membros da banca de defesa, pela colaboração e melhorias do trabalho.

A todos que de alguma forma contribuíram para a concretização desse trabalho.
Meu muito obrigado.

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

SUMÁRIO

RESUMO.....	iii
ABSTRACT	v
CAPÍTULO 1 - Considerações gerais.....	7
1.1 Introdução	7
1.2 Revisão de literatura.....	8
1.2.1 Ganho compensatório em suínos em crescimento e terminação	8
1.2.2 Exigências de lisina para suínos machos imunocastrados.....	10
1.2.3 Variabilidade na determinação das exigências em lisina	12
1.2.4 Problemática do tema pesquisado	14
1.2.5 Perspectiva.....	15
1.2.6 Estruturação da tese	15
1.2.7 Objetivos.....	16
1.3 Referências	17
CAPÍTULO 2 - Effect of lysine restriction on compensatory growth, body composition and nitrogen balance of immunocastrated pigs	21
1. Introduction	25
2. Materials and Methods.....	26
3. Results	31
4. Discussion.....	35
5. Conclusion	41
References	44
CAPÍTULO 3 - Residual effects of lysine depletion on the lysine requirements in entire male pigs before and after immunocastration.....	59
1. Introduction	64
2. Materials and Methods.....	65
3. Results	68
4. Discussion.....	71
5. Conclusions.....	77
References	79
CAPÍTULO 4 - Considerações finais.....	91



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Câmpus de Jaboticabal



CEUA – COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS

CERTIFICADO

Certificamos que o projeto de pesquisa intitulado **“Estimativa de exigência para manutenção, eficiência de utilização e nível ideal de lisina para suínos com alto potencial genético”**, protocolo nº 14150/19, sob a responsabilidade do Prof. Dr. Luciano Hauschild, que envolve a produção, manutenção e/ou utilização de animais pertencentes ao Filo Chordata, subfilo Vertebrata (exceto o homem), para fins de pesquisa científica (ou ensino) - encontra-se de acordo com os preceitos da lei nº 11.794, de 08 de outubro de 2008, no decreto 6.899, de 15 de julho de 2009, e com as normas editadas pelo Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal (CONCEA), e foi aprovado pela COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS (CEUA), da FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS, UNESP - CÂMPUS DE JABOTICABAL-SP, em reunião ordinária de 14 de novembro de 2019.

Vigência do Projeto	19/11/2019 a 20/02/2020
Espécie / Linhagem	Suína
Nº de animais	63
Peso / Idade	Média 50 kg
Sexo	Machos
Origem	Granja Paraíso

Jaboticabal, 14 de novembro de 2019.


Prof.ª Dr.ª Fabiana Pilarski
Coordenadora – CEUA

Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias
Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/n CEP 14884-900 - Jaboticabal/ SP - Brasil
tel 16 3209 7100 www.fcav.unesp.br

DINÂMICA NUTRICIONAL DA LISINA EM SUÍNOS MACHOS IMUNOCASTRADOS: RESTRIÇÃO, GANHO COMPENSATÓRIO E VARIABILIDADE DAS EXIGÊNCIAS

RESUMO – Esta tese teve o objetivo de avaliar, em suínos machos inteiros em crescimento e terminação, o impacto da restrição de lisina digestível ileal estandardizada (SID) na resposta de ganho compensatório, na composição corporal e no balanço de nitrogênio, bem como na estimativa das exigências de lisina e em sua variabilidade individual, antes e após a imunocastração. Para contemplar o objetivo, dois estudos foram conduzidos. No primeiro estudo, um total de 64 suínos machos inteiros ($39,2 \pm 6,8$ kg) foram distribuídos aleatoriamente para receber uma dieta Controle (CON; sem restrição) ou dietas com restrição nos níveis de lisina digestível em 14% (Lys-14), 28% (Lys-28) e 42% (Lys-42) das exigências estimadas para suínos machos inteiros em crescimento (fase de restrição de lisina, do dia 0 ao 28). Do dia 29 ao 64, todos os animais receberam a mesma dieta, formulada de acordo com as exigências nutricionais da categoria de machos inteiros (fase de realimentação 1). A fase de realimentação 2 (do dia 65 ao 86) iniciou-se imediatamente após a aplicação da segunda dose de imunocastração (2,0 mL de Vivax®, Zoetis, Brasil – via subcutânea). A dieta CON e as dietas comuns fornecidas do dia 29 ao 64 e do dia 65 ao 86 foram formuladas para atender ou exceder as exigências nutricionais segundo o NRC (2012). Todas as variáveis reduziram linearmente ($P \leq 0,05$) conforme aumentou a restrição de lisina na dieta, com exceção do lipídeo corporal, que apresentou somente uma tendência de redução linear ($P < 0,10$). Na fase de realimentação 1, não foram observadas diferenças no consumo médio diário de ração, ganho de peso diário e eficiência alimentar entre suínos previamente alimentados com a dieta CON ou dietas com restrição de lisina, independentemente do grau de restrição ($P > 0,05$). O peso corporal final e a proteína corporal final foram semelhantes entre os grupos de suínos previamente alimentados com a dieta CON ou Lys-14 ($P > 0,05$). Ao final da fase de realimentação 2, suínos anteriormente alimentados com a dieta CON apresentaram proteína corporal final semelhante aos animais que receberam previamente as dietas Lys-14 ou Lys-28 ($P > 0,05$). Com relação ao nível mais severo de restrição de lisina avaliado (Lys-42), foi evidenciado um ganho compensatório completo apenas para o peso corporal final. No segundo estudo, os dados dos

mesmos 64 suínos, incluindo também a fase pré-restrição, foram divididos e avaliados em quatro fases: 29 dias de período pré-restrição, 28 dias de fase de restrição de lisina testando 4 níveis de lisina [14% (Lys-14), 28% (Lys-28) e 42% (Lys-42) abaixo da exigência estimada para suínos machos inteiros em crescimento segundo o NRC (2012), além do grupo controle], 35 dias de período de realimentação de lisina, e uma fase de realimentação após a aplicação da segunda dose da vacina de imunocastração, com duração de 21 dias, sendo então considerados como imunocastrados. O consumo individual estimado de ração diário, o peso corporal, e a deposição proteica foram obtidos por meio de funções quadráticas ou lineares, conforme melhor ajustadas aos dados e de acordo com cada categoria sexual. Essas variáveis foram integradas em uma equação fatorial para estimar as exigências diárias individuais de lisina. Para avaliar o impacto da restrição de lisina na variabilidade das exigências de lisina, foram determinados os coeficientes de variação (%) das exigências médias individuais de lisina. Os dados de exigência de lisina (%), demonstraram menores exigências para os tratamentos Lys-28 e Lys-42 ao longo de todas as fases dentro da condição de machos inteiros, em comparação aos grupos controle e Lys-14 ($P \leq 0,05$). Após a imunocastração, os suínos oriundos dos grupos previamente restritos não apresentaram diferenças estatísticas nas exigências de lisina entre os tratamentos ($P > 0,05$). Em relação às estimativas de variabilidade das exigências de lisina, os níveis mais elevados de restrição avaliados (Lys-28 e Lys-42) apresentaram menor coeficiente de variação durante a fase de macho inteiro, embora todos os tratamentos tenham aumentado seus coeficientes após a imunocastração. Embora a restrição de lisina reduza o desempenho e a deposição proteica durante a fase de crescimento, pode ser parcialmente compensada mediante realimentação, inclusive após a imunocastração. Concomitantemente, essa restrição e mudança de categoria sexual alteram não apenas as exigências em lisina, mas também sua variabilidade.

Palavras-chave: exigências, ganho compensatório, lisina, variabilidade

NUTRITIONAL DYNAMICS OF LYSINE IN IMMUNOCASTRATED MALE PIGS: RESTRICTION, COMPENSATORY GROWTH, AND ITS REQUIREMENT VARIABILITY

ABSTRACT - This thesis aimed to evaluate, in growing–finishing entire male pigs, the impact of standardized ileal digestible (SID) lysine restriction on compensatory growth response, body composition, and nitrogen balance, as well as on the estimation of lysine requirements and their individual variability, both before and after immunocastration. To achieve the objective, two studies were conducted. In the first study, a total of 64 entire male pigs (39.2 ± 6.8 kg) were randomly assigned to receive either a Control diet (CON; no restriction) or diets with digestible lysine levels restricted by 14% (Lys-14), 28% (Lys-28), and 42% (Lys-42) of the estimated requirements for growing entire male pigs (lysine restriction phase, from day 0 to 28). From day 29 to 64, all pigs received the same diet, formulated according to the nutritional requirements of entire males (repletion phase 1). Repletion phase 2 (day 65 to 86) began immediately after administration of the second immunocastration dose (2.0 mL of Vivax®, Zoetis, Brazil – subcutaneous method). The CON and common diets provided from day 29 to 64 and from day 65 to 86 were formulated to meet or exceed the nutritional requirements established by the NRC (2012). All variables decreased linearly ($P \leq 0.05$) as dietary lysine restriction increased, except for body lipid content, which showed only a tendency toward linear reduction ($P < 0.10$). During repletion phase 1, no significant differences were observed in average daily feed intake, average daily gain, or feed efficiency among pigs previously fed the CON or lysine-restricted diets, regardless of the restriction level ($P > 0.05$). Final body weight and final body protein were similar between pigs previously fed the CON or Lys-14 diets ($P > 0.05$). At the end of repletion phase 2, pigs that had previously received the CON diet showed similar final body protein to those previously fed Lys-14 or Lys-28 diets ($P > 0.05$). Regarding the most severe lysine restriction level (Lys-42), a complete compensatory growth was observed only for final body weight. In the second study, data from the same 64 pigs, including the pre-restriction phase, were divided and analyzed across four phases: 29 days of pre-restriction, 28 days of lysine restriction testing four dietary levels [14% (Lys-14), 28% (Lys-28), and 42% (Lys-42) below the estimated requirements for growing entire male pigs according to the NRC (2012), plus the

control group], 35 days of lysine repletion, and a repletion phase lasting 21 days following the second immunocastration dose, after which pigs were considered immunocastrated. Estimated individual daily feed intake, body weight, and protein deposition were obtained using linear or quadratic functions, best fitted to the data for each sexual category. These variables were integrated into a factorial equation to estimate daily individual lysine requirements. To assess the impact of lysine restriction on the variability of lysine requirements, coefficients of variation (CV, %) of the average individual lysine requirements were determined. Lysine requirement (%), showed lower requirements for the Lys-28 and Lys-42 treatments across all phases during the entire male condition, compared to the control and Lys-14 groups ($P \leq 0.05$). Following immunocastration, pigs from previously restricted groups showed no statistical differences in lysine requirements among treatments ($P > 0.05$). In terms of variability in lysine requirement estimates, the highest restriction levels evaluated (Lys-28 and Lys-42) demonstrated lower coefficients of variation during the entire male phase, although all treatments showed an increase in CV following immunocastration. Although Lys restriction reduces performance and protein deposition during the growth phase, it can be partially catch-up throughout repletion, including after immunocastration. At the same time, restriction and the change in sexual category alter not only lysine requirements but also their variability.

Keywords: compensatory growth, lysine, requirements, variability

CAPÍTULO 1 - Considerações gerais

1.1 Introdução

Com o aumento da demanda por produção de alimentos para atender às necessidades crescentes da população mundial, é crucial entender as exigências nutricionais dos animais, e estabelecer um paralelo entre a produção sustentável e o ganho maximizado na produção de alimentos de origem animal. No âmbito da suinocultura, desenvolver estratégias nutricionais voltadas para diferentes categorias sexuais pode reduzir o custo de produção e minimizar o impacto ambiental relacionado a excreção de nutrientes excedentes no meio ambiente.

Atender as exigências nutricionais de suínos é um fator chave para obtenção de melhores índices zootécnicos em um sistema de produção intensiva. Em contrapartida, desafios de origem multifatoriais (sanitário, estresse por calor, manejo) podem desencadear certos graus de restrição nutricional durante um determinado período. Animais submetidos a um período de restrição nutricional (depleção) e, posteriormente, com o retorno do atendimento das exigências nutricionais (repleção ou realimentação) podem apresentar uma taxa de crescimento mais elevada em comparação a animais que não foram restritos. Esse mecanismo é definido como ganho compensatório (Hornick et al., 2000).

A caracterização do ganho compensatório é dependente de fatores de diferentes naturezas, como por exemplo a restrição qualitativa de lisina na dieta (Menegat et al., 2019). A partir dessa restrição dietética de lisina, é possível aprofundar-se nas dinâmicas que podem ocorrer juntamente ao ganho compensatório. Como exemplo, os efeitos dessa restrição nas exigências desse aminoácido na fase de repleção para suínos em diferentes categorias sexuais: suínos machos inteiros e imunocastrados.

A imunocastração é uma técnica alternativa à castração cirúrgica que visa suprimir temporariamente a função testicular por meio de uma resposta imunológica. Consiste na aplicação em duas doses de uma vacina que estimula a produção de anticorpos contra o hormônio liberador de gonadotrofinas (GnRH; Cronin et al., 2003; Claus et al., 2007). Como consequência, observa-se a redução da testosterona plasmática, regressão de comportamentos sexuais indesejáveis, e redução dos compostos responsáveis pelo odor sexual da carne (boar taint; Stupka et al., 2017).

Além disso, as alterações metabólicas decorrentes da redução de testosterona circulante, pode afetar o desempenho e a composição corporal dos suínos (Dunshea et al., 2001).

Dessa forma, ao investigar os efeitos da restrição de lisina sobre o ganho compensatório de suínos nas fases anteriores e posteriores à imunocastração, surge também a possibilidade de avaliar como essa restrição influencia as exigências de lisina em cada fase, bem como a variabilidade inerente dessas exigências dentro de uma população. Portanto, o presente estudo teve o objetivo de avaliar, em suínos machos inteiros em crescimento e terminação, o impacto da restrição de lisina digestível ileal estandardizada (SID) na resposta de ganho compensatório, na composição corporal e no balanço de nitrogênio, bem como na estimativa das exigências de lisina e em sua variabilidade individual, antes e após a imunocastração.

5. Conclusions

Our findings demonstrate that there are residual effects of previous dietary Lys restriction on SID Lys requirements in subsequent phases. Pigs fed Lys-42 during the restriction phase had the lowest SID Lys requirement, except when immunocastrated. Feed intake variation in the first four days after immunocastration vaccine does affect SID Lys requirements. Regarding variability estimations, the lowest Lys restriction levels evaluated

(Lys-28 and Lys-42) had lower CV during entire male condition, although all treatments increased their CV following immunocastration.

Competing Interests

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Acknowledgments

The authors acknowledge financial support received from the São Paulo Research Foundation (FAPESP grant 2018/15559-7). We express our gratitude for the financial support for this project provided by Agrocere PIC LTDA and Seara Alimentos. The authors are also thankful to Evonik Company for the diet analysis. We also thank the Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq for providing scholarship no. 162945/2021-3 for the first author.

CRedit author statement

Cleslei Alisson Silva: Investigation; Writing – original draft; Writing – review and editing; **Danilo Alves Marçal:** Formal analysis; Writing – review and editing; **Alícia Zem Fraga:** Writing – original draft; Writing – review and editing; **Alini Mari Veira:** Writing – review and editing; **Marllon José Karpeggiane de Oliveira:** Writing – review and editing; **Graziela Alves da Cunha Valini:** Writing – review and editing; **Gustavo Freire Resende Lima:** Investigation; Funding acquisition; **Luciano Hauschild:** Conceptualization; Funding acquisition; Project administration; Writing – review and editing; Supervision. All authors read and approved the final version of the manuscript.

References

- Batorek-Lukač, N., Čandek-Potokar, M., Škrlep, M., Kubale, V., Labussière, E., 2021. Effect of Changes in Dietary Net Energy Concentration on Growth Performance, Fat Deposition, Skatole Production, and Intestinal Morphology in Immunocastrated Male Pigs. *Front Vet Sci* 8. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.789776>
- Bee, G., Quiniou, N., Maribo, H., Zamaratskaia, G., Lawlor, P.G., 2020. Strategies to meet nutritional requirements and reduce boar taint in meat from entire male pigs and immunocastrates. *Animals*. <https://doi.org/10.3390/ani10111950>
- Berghaus, D., Haese, E., Weishaar, R., Sarpong, N., Kurz, A., Seifert, J., Camarinha-Silva, A., Bennewitz, J., Chillon, T., Stefanski, V., Rodehutschord, M., 2023. Nitrogen and lysine utilization efficiencies, protein turnover, and blood urea concentrations in crossbred grower pigs at marginal dietary lysine concentration. *J Anim Sci* 101. <https://doi.org/10.1093/jas/skad335>
- Bertolo, R.F., Moehn, S., Pencharz, P.B., Ball, R.O., 2005. Estimate of the variability of the lysine requirement of growing pigs using the indicator amino acid oxidation technique 1, *J. Anim. Sci.*
- Biswas, S., Dang, D., Cho, S., Kang, D.-K., Kim, I., 2023. Effects of increasing dietary lysine and energy levels on growth efficiency, nutrient absorption, and meat carcass traits in growing-finishing pigs. *J Anim Sci Technol.* <https://doi.org/10.5187/jast.2023.e118>
- Boler, D.D., Kutzler, L.W., Meeuwse, D.M., King, V.L., Campion, D.R., McKeith, F.K., Killefer, J., 2011. Effects of increasing lysine on carcass composition and cutting

- yields of immunologically castrated male pigs. *J Anim Sci* 89, 2189–2199.
<https://doi.org/10.2527/jas.2010-3640>
- Brossard, L., Dourmad, J.Y., Rivest, J., Van Milgen, J., 2009. Modelling the variation in performance of a population of growing pig as affected by lysine supply and feeding strategy. *Animal* 3, 1114–1123. <https://doi.org/10.1017/S1751731109004546>
- Dalla Costa, O.A., Tavernari, F. de C., Lopes, L. dos S., Dalla Costa, F.A., Feddern, V., de Lima, G.J.M.M., 2020. Performance, carcass and meat quality of pigs submitted to immunocastration and different feeding programs. *Res Vet Sci* 131, 137–145.
<https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2020.04.015>
- de Greef, K.H., Verstegen, M.W.A., Kemp, B., van der Togt, P.L., 1994. The effect of body weight and energy intake on the composition of deposited tissue in pigs. *Anim Prod* 58, 263–270. <https://doi.org/10.1017/s1357729800042582>
- Dunshea, F.R., Allison, J.R.D., Bertram, M., Boler, D.D., Brossard, L., Campbell, R., Crane, J.P., Hennessy, D.P., Huber, L., De Lange, C., Ferguson, N., Matzat, P., McKeith, F., Moraes, P.J.U., Mullan, B.P., Noblet, J., Quiniou, N., Tokach, M., 2013. The effect of immunization against GnRF on nutrient requirements of male pigs: A review. *Animal* 7, 1769–1778. <https://doi.org/10.1017/S1751731113001407>
- Dunshea, Frank Rowland, Dunshea, F R, Colantoni, C., Howard, K., Mccauley, I., Jackson, P., Long, K.A., Lopaticki, S., Nugent, E.A., Simons, J.A., Walker, J., Hennessy, D.P., 2001. Immunocastration-world first boar taint vaccine Vaccination of boars with a GnRH vaccine (Improvac) eliminates boar taint and increases growth performance 1, *J. Anim. Sci.*

- Elsbernd, A.J., De Lange, C.F.M., Stalder, K.J., Karriker, L.A., Patience, J.F., 2017. SID lysine requirement of immunologically and physically castrated male pigs during the grower, early and late finisher periods. *J Anim Sci* 95, 1253–1263. <https://doi.org/10.2527/jas2016.0544>
- Fernández-Fígares, I., Haro, A., Lachica, M., Lara, L., Seiquer, I., Nieto, R., 2023. Metabolic Profile of Growing Immune- and Surgically Castrated Iberian Pigs Fed Diets of Different Amino Acid Concentration. *Animals* 13. <https://doi.org/10.3390/ani13162650>
- Hauschild, L., Pomar, C., Lovatto, P.A., 2010. Systematic comparison of the empirical and factorial methods used to estimate the nutrient requirements of growing pigs. *Animal* 4, 714–723. <https://doi.org/10.1017/S1751731109991546>
- Heger, J., Křížová, L., Šustala, M., Nitrayová, S., Patráš, P., Hampel, D., 2009. Individual response of growing pigs to lysine intake. *J Anim Physiol Anim Nutr (Berl)* 93, 538–546. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2008.00837.x>
- Hewitt, D.J., Dekkers, J.C.M., Antonick, T., Gheisari, A., Rakhshandeh, A.R., Rakhshandeh, A., 2020. Effects of divergent selection for residual feed intake on nitrogen metabolism and lysine utilization in growing pigs. *J Anim Sci* 98, 1–9. <https://doi.org/10.1093/JAS/SKAA152>
- Kahindi, R.K., Htoo, J.K., Nyachoti, C.M., 2017. Dietary lysine requirement for 7–16 kg pigs fed wheat–corn–soybean meal-based diets. *J Anim Physiol Anim Nutr (Berl)* 101, 22–29. <https://doi.org/10.1111/jpn.12491>

- Kendall, D.C., Gaines, A.M., Kerr, B.J., Allee, G.L., 2007. True ileal digestible tryptophan to lysine ratios in ninety- To one hundred twenty-five-kilogram barrows. *J Anim Sci* 85, 3004–3012. <https://doi.org/10.2527/jas.2007-0013>
- Menegat, M.B., Dritz, S.S., Tokach, M.D., Woodworth, J.C., Derouchey, J.M., Goodband, R.D., 2019. A review of compensatory growth following lysine restriction in grow-finish pigs. *Transl Anim Sci* 4, 531–547. <https://doi.org/10.1093/tas/txaa014>
- Moehn, S., Ball, R.O., Fuller, M.F., Gillis, A.M., De Lange, C.F.M., 2004. Growth potential, but not body weight or moderate limitation of lysine intake, affects inevitable lysine catabolism in growing pigs. *Journal of Nutrition* 134, 2287–2292. <https://doi.org/10.1093/jn/134.9.2287>
- Muniz, H. da C.M., Rocha, L.T. da, Kunzler, J.S., Ceron, M.S., Fraga, B.N., Bottan, J., Quadros, A.R.B. de, Oliveira, V. de, 2019. Evaluation of factorial methods to estimate lysine requirements for barrows and immunocastrated pigs. *Livest Sci* 227, 68–74. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2019.07.003>
- NRC, 2012. Nutrient requirements of swine. 11th rev. ed. National Academies Press, Washington, DC, USA.
- Ortiz, M.T., Arnaut, P.R., Valini, G.A.C., França, I., Silva, C.A., de Oliveira, M.J.K., Marçal, D.A., Melo, A.D.B., Hauschild, L., 2024. A salmonella-challenge impacts the variability of performance, body composition and lysine requirements of growing pigs under poor housing conditions. *Livest Sci* 283. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2024.105462>
- Pauly, C., Spring, P., Odoherty, J. V., Ampuero Kragten, S., Bee, G., 2009. Growth performance, carcass characteristics and meat quality of group-penned surgically

- castrated, immunocastrated (Improvac) and entire male pigs and individually penned entire male pigs. *Animal* 3, 1057–1066. <https://doi.org/10.1017/S1751731109004418>
- Pérez-Ciria, L., Miana-Mena, F.J., Álvarez-Rodríguez, J., Latorre, M.A., 2022. Effect of Castration Type and Diet on Growth Performance, Serum Sex Hormones and Metabolites, and Carcass Quality of Heavy Male Pigs. *Animals* 12. <https://doi.org/10.3390/ani12081004>
- Poklukar, K., Čandek-Potokar, M., Vrecl, M., Batorek-Lukač, N., Fazarinc, G., Kress, K., Weiler, U., Stefanski, V., Škrlep, M., 2021. The effect of immunocastration on adipose tissue deposition and composition in pigs. *Animal* 15. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2020.100118>
- Pomar, C., Rivest, J., 1996. The effect of body position and data analysis on the estimation of body composition of pigs by dual energy xray absorptiometry (DEXA). In: Proc. 46th Annual Conference Canadian Society of Animal Science; Lethbridge, AB, Canada. p. 26. (Abstr.)
- Pomar, J., López, V., Pomar, C., 2011. Agent-based simulation framework for virtual prototyping of advanced livestock precision feeding systems. *Comput Electron Agric* 78, 88–97. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2011.06.004>
- Poulsen Nautrup, B., Van Vlaenderen, I., Aldaz, A., Mah, C.K., 2018. The effect of immunization against gonadotropin-releasing factor on growth performance, carcass characteristics and boar taint relevant to pig producers and the pork packing industry: A meta-analysis. *Res Vet Sci* 119, 182–195. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2018.06.002>

- Remus, A., Hauschild, L., Létourneau-Montminy, M.P., Pomar, C., 2021. Estimating amino acid requirements in real-time for precision-fed pigs: The challenge of variability among individuals. *Animals* 11. <https://doi.org/10.3390/ani11123354>
- Remus, A., Hauschild, L., Pomar, C., 2020. Simulated amino acid requirements of growing pigs differ between current factorial methods. *Animal* 14, 725–730. <https://doi.org/10.1017/S1751731119002660>
- Rostagno HS, Albino LFT, Calderano AA, Hannas MI, Sakomura NK, Perazzo FG, Rocha GC, Saraiva A, de Abreu MLT, Genova JL, and Tavernari FC. 2024. Tabelas brasileiras para aves e suínos: Composição de alimentos e exigências nutricionais [in Portuguese], 5th edition. Editora UFV, Viçosa, Brazil.
- Song, W., Wu, Z., Li, W., Li, Y., Yang, H., 2022. Optimal dietary standardized ileal digestible lysine level for pigs during the grower, early and late finisher periods. *BMC Vet Res* 18. <https://doi.org/10.1186/s12917-022-03557-1>
- Soto, J.A., Tokach, M.D., Dritz, S.S., Woodworth, J.C., Derouchey, J.M., Goodband, R.D., Wu, F., 2019. Optimal dietary standardized ileal digestible lysine and crude protein concentration for growth and carcass performance in finishing pigs weighing greater than 100 kg. *J Anim Sci* 97, 1701–1711. <https://doi.org/10.1093/jas/skz052>
- Susenbeth, A. 1995. Livestock PI Factors affecting lysine utilization Science 43.
- van Milgen, J., Valancogne, A., Dubois, S., Dourmad, J.Y., Sève, B., Noblet, J., 2008. InraPorc: A model and decision support tool for the nutrition of growing pigs. *Anim Feed Sci Technol* 143, 387–405. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.05.020>

Zamaratskaia, G., Rydhmer, L., Andersson, H.K., Chen, G., Lowagie, S., Andersson, K., Lundström, K., 2008. Long-term effect of vaccination against gonadotropin-releasing hormone, using Improvac™, on hormonal profile and behaviour of male pigs. *Anim Reprod Sci* 108, 37–48. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2007.07.001>