

# RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta dissertação será disponibilizado somente a partir de 28/03/2022.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP  
CENTRO DE AQUICULTURA DA UNESP

**PERFIL IDEAL DE AMINOÁCIDOS  
ESSENCIAIS DIETÉTICOS PARA PACUS  
ADULTOS**

**Thaís da Silva Oliveira**

Jaboticabal, São Paulo  
2020

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP  
CENTRO DE AQUICULTURA DA UNESP

**PERFIL IDEAL DE AMINOÁCIDOS  
ESSENCIAIS DIETÉTICOS PARA PACUS  
ADULTOS**

**Thaís da Silva Oliveira**

**Orientador: Prof. Dr. João Batista Kochenborger Fernandes**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Aquicultura do Centro de Aquicultura da UNESP - CAUNESP, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre.

Jaboticabal, São Paulo  
2020

Oliveira, Thaís da Silva  
O48p Perfil ideal de aminoácidos essenciais dietéticos para pacus adultos / Thaís da Silva Oliveira. -- Jaboticabal, 2020  
vi, 45 p. : il. ; 29 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Centro de Aquicultura, 2020

Orientador: João Batista Kochenborger Fernandes

Banca examinadora: Danilo Cintra Proença, Dariane Beatriz Schoffen Enke

Bibliografia

1. Alimentação. 2. Nutrição pacu. 3. Proteína balanceada. I. Título. II. Jaboticabal-Centro de Aquicultura.

CDU 639.3.043

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

Título: PERFIL IDEAL DE AMINOÁCIDOS ESSENCIAIS DIETÉTICOS PARA PACUS ADULTOS

**AUTORA: THAÍS DA SILVA OLIVEIRA**

**ORIENTADOR: JOÃO BATISTA KOCHENBORGER FERNANDES**

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em  
AQUICULTURA, pela Comissão Examinadora:



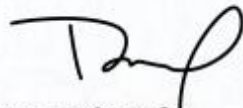
Prof. Dr. JOÃO BATISTA KOCHENBORGER FERNANDES

Laboratório de Peixes Ornamentais / Centro de Aquicultura – CAUNESP



Profa. Dra. DARIANE BEATRIZ SCHOFFEN ENKE

Coordenadoria do Curso de Engenharia de Pesca / Universidade Estadual Paulista Júlio de  
Mesquita Filho, Campus de Registro, Registro-SP



Prof. Dr. DANILO CINTRA PROENÇA

Faculdade de Educação São Luís, FESL, Jaboticabal-SP

Jaboticabal, 28 de Setembro de 2020

## SUMÁRIO

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	vi
<b>APOIO FINANCEIRO</b> .....	vii
<b>CAPÍTULO I – ASPECTOS GERAIS</b> .....	8
<b>RESUMO GERAL</b> .....	8
<b>GENERAL ABSTRACT</b> .....	9
<b>INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	10
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	14
<b>CAPÍTULO II – Artigo</b> .....	17
<b>ABSTRACT</b> .....	17
<b>1 INTRODUCTION</b> .....	18
<b>2 MATERIAL AND METHODS</b> .....	20
<b>3 RESULTS</b> .....	23
<b>4 DISCUSSION</b> .....	24
<b>5 CONCLUSION</b> .....	29
<b>ACKNOWLEDGEMENTS</b> .....	29
<b>REFERENCES</b> .....	29
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	47

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus, por me guiar por todo este caminho percorrido, e permitir que fosse possível alcançar meus objetivos até o momento;

Aos meus pais por sempre me apoiarem em qualquer decisão;

Ao meu orientador, Dr. João Batista Kochenborger Fernandes, por me acolher em seu laboratório e grupo de pesquisa, além da oportunidade do desenvolvimento da presente pesquisa e por todos os conhecimentos adquiridos neste período;

À equipe de pesquisa do setor de Avicultura da UNESP, Campus de Jaboticabal, pelos auxílios nas análises dos dados e por todo conhecimento adquirido neste período;

Ao setor de Caprinocultura da UNESP, Campus de Jaboticabal, por disponibilizar o espaço para realizar parte dos processamentos das amostras;

A todos professores que contribuíram para minha formação até este momento, principalmente aos que me orientaram de perto: Dr.<sup>a</sup> Dariane B. S. Enke, Dr. Eduardo A. Sanches, Dr. Guilherme W. Bueno e Dr. João B. K. Fernandes.

Aos grandes amigos conquistados no Caunesp, que de alguma forma me auxiliaram no desenvolvimento deste estudo ou pelos conselhos e momentos de distração, Valdecir (Val), Márcio (Perereca), Luiz, Elaine, Suely (em especial aos cafezinhos e chás), Eleuza, Lucia, entre outros que sempre estavam presentes nestes momentos;

Aos meus amigos e parceiros, Rafael Romaneli, Monique, Andressa, Manuel, Kifayat, Marcelo, Jéssica, Laíza, Magdiel, entre outros que tive oportunidade de conhecer neste tempo.

Aos amigos de longa data, que sempre estiveram presentes desde a graduação, principalmente Woshington (Zubu), Maicon Brandes e Leticia (Trutinha).

À FAPESP e ao CNPq pelo apoio financeiro para desenvolvimento da presente pesquisa;

À Evonik Industries AG, Alemanha, pela realização dos aminogramas.

## **APOIO FINANCEIRO**

À Fundação de Amparo à Pesquisa no Estado de São Paulo (FAPESP), processo N° 2013/25761-4 e N° 2019/06343-3; e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) processo N° 130873/2019, pelo apoio financeiro para desenvolvimento da pesquisa.

À Evonik Industries AG Essen, North Rhine-Westphalia, Alemanha, pela realização dos aminogramas.



## **CAPÍTULO I – ASPECTOS GERAIS**

### **RESUMO GERAL**

Um balanço adequado de aminoácidos essenciais (AAEs) na dieta garante uma deposição de conteúdo proteico ideal no corpo animal, necessário para um crescimento de forma saudável. A falta de um aminoácido essencial ou em quantidade insuficiente na dieta ingerida, torna o peixe incapaz de depositar proteínas adequadamente, limitando seu crescimento e trazendo prejuízos econômicos e ambientais na produção. Para avaliar a resposta do animal, frente a essas deficiências dos AAEs na retenção de nitrogênio no corpo, dentre os métodos disponíveis, aplicou-se o método de deleção. Este método foi desenvolvido para validar o conceito de proteína ideal. Para sua aplicação, realiza-se uma redução suficiente do aminoácido teste na dieta experimental e, pela técnica do abate comparativo, calcula-se a retenção de nitrogênio corporal. A partir destes resultados é possível determinar os níveis ideais de cada AAE e assim encontra-se o perfil ideal dos AAEs, servindo como base para a formulação de dietas para diferentes espécies em diferentes fases de crescimento. Informação nutricionais espécie-específico precisas e ajustadas ainda são escassas, ainda mais tratando-se de espécies de suma importância para a produção internacional. O pacu (*Piaractus mesopotamicus*) vem mostrando grande importância na produção mundial, endêmico da bacia do Prata, além de sua presença em países da América Latina, é produzido em países da América do Norte e Ásia. Portanto, pesquisas voltadas a nutrição desta espécie, poderão contribuir positivamente à produção internacional, principalmente para a indústria

de rações comerciais. O conhecimento disponível sobre as exigências nutricionais para as espécies de interesse comercial ainda é limitado, especialmente ao tratarmos sobre nutrição de peixes em fase de terminação. Considerando ainda, a atenção a fatores atrelados como otimizar o aproveitamento dos nutrientes oferecidos, reduzindo o conteúdo de proteína absoluta em dietas e redução da emissão de nitrogênio no ambiente, faz-se necessário o conhecimento dos níveis ótimos dos nutrientes essenciais para diferentes fases de crescimentos das espécies de importância na produção aquícola.

**Palavras-chave:** Alimentação, aquicultura sustentável, nutrição de pacu, proteína balanceada.

### **GENERAL ABSTRACT**

Essential amino acid balance in the diet ensures the deposition of ideal protein content in animal body which is necessary for the healthy growth. However, the lack or insufficient ratios of essential amino acids in the diet do not allow the fish to deposit optimum protein contents. In fish nutrition, to assess the animal response to essential amino acid (EAA) deficiencies and their effect on the body nitrogen retention, several methods are used, including the deletion approach. In the deletion technique, the test amino acid levels are effectively reduced in the experimental diets, and by the comparative slaughter method, body nitrogen retention is determined. Using the body N retention data, the optimal ratios of essential amino acids are calculated, serving as a baseline for the formulation of practical and experimental diets for large size fish. This information is still scarce for several commercially cultivable fish species, including pacu. Pacu is a suitable fish for large-scale production, endemic to the freshwater bodies in Latin American

Countries as well as widely cultured in several other countries of the world as an exotic species. Therefore, research focused on the nutrition of this species may contribute positively to the global aquaculture production and supplies important data to the commercial feed industry. The available knowledge about amino acid requirements of adult pacu is still limited. The present study supplies an important outline for the optimization of amino acid use efficiency of adult pacu to reduce the absolute protein contents in the diets and minimize the excessive N emissions in aquatic environments.

**Keywords:** Feeding, Sustainable aquaculture, Pacu Nutrition, Balanced protein

## **INTRODUÇÃO GERAL**

Sabe-se que a proteína está entre os nutrientes essenciais e mais onerosos de rações comerciais utilizadas na aquicultura (Li et al., 2009; Wilson, 2002). Portanto, estudos focados nos níveis deste nutriente e nos aminoácidos (AAs) que as compõem, tornam-se uma das ferramentas principais para a melhoria da eficiência de utilização proteica pelo animal, além de reduzir a carga do efluente, diminuindo o impacto no ambiente (Green e Hardy, 2002; Peres e Oliva-Teles, 2009).

Os AAs também são componentes importantes de controle das principais vias metabólicas (Li et al., 2009). Alguns AAs não podem ser sintetizados ou são sintetizados em quantidades insuficientes pelos animais, sendo estes chamados de aminoácidos essenciais (AAEs) (Sakomura e Rostagno, 2016). Já os aminoácidos que o organismo animal é capaz de sintetizar em quantidades suficientes para garantir um crescimento saudável, são chamados de aminoácidos não essenciais (AANEs), portanto não é necessário grandes

inclusões nas dietas como é o caso do AAEs. Os AAEs são os mais importantes a serem estudados, pois é necessário que sejam fornecidos em proporções adequadas aos animais através da dieta para que o organismo possa manter, de forma adequada, suas funções metabólicas e crescimento (Li et al., 2009; Wu, 2013; 2014).

Desta forma, entende-se o conceito de proteína ideal como um conjunto de AAs com total biodisponibilidade de digestão e metabolismo, presentes em quantidades e proporções que atendam, sem excessos, as exigências do animal para plena realização dos processos de manutenção, além de atingir seu potencial genético de crescimento (Boisen, 2003; Furuya, 2010; Green e Hardy, 2002; Mitchell, 1964; Peres e Oliva-Teles, 2009).

Para formular uma dieta atendendo os conceitos de proteína ideal, torna-se necessário o conhecimento dos níveis adequados de inclusão dos AAs para a fase de crescimento da espécie estudada. A forma mais rápida de se encontrar esses níveis é a análise do perfil de AAs corporais dos animais, partindo do princípio de que a composição química corporal varia de acordo com o conteúdo nutricional ingerido. Embora este método apresente apenas valores aproximados, uma vez que não são considerados todos os gastos metabólicos do animal, somente a deposição dos AA nos tecidos corporais (Diógenes et al., 2015; Furuya, 2010; Green e Hardy, 2002; Peres e Oliva-Teles, 2009; Rollin et al., 2003), ele apresenta grande importância por ser rápido e servir como base para iniciar estudos de exigências nutricionais.

Outro método, conhecido como dose-resposta, é o mais utilizado para determinar os níveis ideais dos AAs. Através de tratamentos com diferentes níveis do AA estudado, é possível estimar um nível indicado dele. Todavia, para

encontrar o nível adequado de todos os AAEs, faz-se necessário que cada AAE seja estudado isoladamente, acarretando altos gastos financeiros e tempo (Diógenes et al., 2015; Green e Hardy, 2002; Peres e Oliva-Teles, 2009; Rollin et al., 2003). Além disso, cada experimento pode apresentar indesejáveis particularidades, pois utilizam lotes de peixes, dietas, período e condições ambientais diferentes (Green e Hardy, 2002; Rollin et al., 2003). Para eliminar estas fontes de variação, utiliza-se o método de deleção que tem por objetivo determinar o perfil ideal entre os aminoácidos essenciais e estimar proporções adequadas em um único experimento (Boisen et al., 2000; Diógenes et al., 2015; Green e Hardy, 2002; Peres e Oliva-Teles, 2009; Rollin et al., 2003). Isso permite maior grau de uniformidade e acurácia dos resultados e menor tempo de período experimental quando comparado com o método de dose-resposta.

Descrito por Wang e Fuller (1989), o método da deleção consiste na elaboração de tratamentos nos quais as dietas são isoenergéticas e isoproteicas, e apresentam apenas um AAE deficiente (reduzido). Este método foi desenvolvido para validação do conceito de proteína ideal. Desta forma, cada tratamento tem um nível de retenção de nitrogênio corporal específico, de acordo com o AAE deficiente na dieta. Com este perfil do AAE reduzido na dieta e a consequente retenção de nitrogênio corporal, podem ser estimados os níveis de AAEs para a espécie em estudo (Green e Hardy, 2002; Wang e Fuller, 1989).

Este método foi inicialmente desenvolvido para uso em suínos (Wang e Fuller, 1989), e vem sendo utilizada com ótimos resultados e aceitação para várias espécies de peixes, como salmonídeos (Green e Hardy, 2002; Rollin et al., 2003), dourada (Peres e Oliva-Teles, 2009), pargo (Marammazi et al., 2017) e tilápia-do-Nilo (Diógenes et al., 2015; Rodrigues, 2019). Este método foi aplicado

para determinar o perfil ideal de AAEs para juvenis de pacus (Boaratti et al., 2020). Contudo, para a fase de terminação ou pacus adultos ainda falta essa informação. O pacu vem mostrando grande importância na produção mundial. Trata-se de uma espécie nativa do Brasil, endêmica da Bacia do Prata, estando presente em outros países da América do Norte e Ásia (FAO, 2010; Flores Nava, 2007; Honglang, 2007). É um peixe que tolera baixas temperaturas em ambiente natural (Milstein et al., 2000). Além disso apresenta alto valor comercial, crescimento relativamente rápido (Jomori et al., 2005), alta prolificidade e fácil adaptação em cativeiro, favorecendo ainda mais sua produção e comercialização (Abimorad e Carneiro, 2004). Outra característica favorável é seu hábito alimentar onívoro e a fácil aceitação de alimentos com ampla composição nutricional (Abimorad e Carneiro, 2007; Abimorad et al., 2010; Fernandes et al., 2000; Fiod et al., 2010).

## 5 CONCLUSION

Based on the body nitrogen (N) retention data obtained in this work through the amino acid (AA) deletion method, the optimum pattern of dietary EAAs estimated in relation to lysine requirement of 100% was as follows: arginine 72.16%; phenylalanine 40.83%; histidine 30.15%; isoleucine 53.01%; leucine 81.71%; methionine 24.97%; threonine 58.20%; tryptophan 9.13% and valine 54.69%.

## ACKNOWLEDGEMENTS

We highly acknowledge the FAPESP (Process No. 2019/06343-3 and Thematic Project No. 2013/25761-4) and CNPq (Process No. 130873/2019) for financially supporting the present study and Evonik Industries AG, Essen, Germany for providing the aminograms.

## REFERENCES

- Abimorad, E. G., & Carneiro, D. J. (2007). Digestibility and performance of pacu (*Piaractus mesopotamicus*) juveniles-fed diets containing different protein, lipid and carbohydrate levels. *Aquaculture Nutrition*, 13, 1–9. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2007.00438.x>.
- Abimorad, E. G., & Carneiro, D. J. (2004). Métodos de coleta de fezes e determinação dos coeficientes de digestibilidade da fração proteica e da energia de alimentos para o pacu, *Piaractus mesopotamicus* (Holmberg, 1887). *Revista Brasileira de Zootecnia*, 33, 1101–1109. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982004000500001>.
- Abimorad, E. G., Favero, G.C., Squassoni, G.H., & Carneiro, D. (2010). Dietary digestible lysine requirement and essential amino acid to lysine ratio for pacu *Piaractus mesopotamicus*. *Aquaculture Nutrition*, 16, 370–377. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2009.00674.x>.
- Abimorad, E. G., Squassoni, G. H., & Carneiro, D. J. (2008). Apparent digestibility of protein, energy, and amino acids in some selected feed ingredients for pacu *Piaractus mesopotamicus*. *Aquaculture Nutrition*, 14, 374–380. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2007.00544.x>.
- Alam, M. S., Teshima, S., Koshio, S., Ishikawa, M., Uyan, O., Hernandez, L. H. H., & Michael, F. R. (2005). Supplemental effects of coated methionine and/or lysine to soy protein isolate diet for juvenile kuruma shrimp, *Marsupenaeus japonicus*.

- Aquaculture*, 248, 13–19. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.04.015>.
- Ambardekar, A. A., Reigh, R. C., & Williams, M. B. (2009). Absorption of amino acids from intact dietary proteins and purified amino acid supplements follows different time-courses in channel catfish (*Ictalurus punctatus*). *Aquaculture*, 291, 179–187. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.02.044>.
- Andriguetto, J. M., Perly, L., Minardi, I., Gemael, A., Flemming, J.S., Souza, G.A., & Bona Filho, A. (2006). Os alimentos e os princípios nutritivos (In Portuguese). In: Andriguetto, J. M., Perly, L., Minardi, I., Gemael, A., Flemming, J. S., Souza, G. A., Bona Filho, A., editors. *Nutrição Animal*. São Paulo: Nobel, pp. 17–40.
- Arai, S. (1981). A purified test diet for coho Salmon, *Oncorhynchus kisutch*, fry. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 47, 547–50. <https://doi.org/10.2331/suisan.47.547>.
- Association of Official Analytical Chemists – AOAC International (2016). *Official Methods of Analysis of AOAC International* (20th ed.). Gaithersburg, MD: Association of Official Analytical Chemists.
- Baker, D. H. (2003). Ideal amino acid patterns for broiler chicks. In: D’Mello JPF, editor. *Amino Acids in Animal Nutrition* (2nd ed). Wallingford, Oxon: CAB International, pp. 223–235.
- Ball, R. O., Law, G., Bertolo, R. F. P., & Pencharz, P. B. (1999). Adequate oral threonine is critical for mucin production and mucosal growth by neonatal piglet gut. In: Lobley, G. E., White, A., & MacRae, J. C., editors. *Proceedings of the VIIIth International Symposium on Protein Metabolism and Nutrition*. EAAP Publication, p. 31.
- Berge, G. E., Sveier, H., & Lied, E. (2002). Effects of feeding Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) imbalanced levels of lysine and arginine. *Aquaculture Nutrition*, 8, 239–248. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2095.2002.00211.x>.
- Bicudo, A. J. A., Sado, R. Y., & Cyrino, J. E. P. (2009). Dietary lysine requirement of juvenile pacu *Piaractus mesopotamicus* (Holmberg, 1887). *Aquaculture*, 297, 151–156. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.09.031>.
- Boaratti, A. Z., Nascimento, T. M. T., Khan, K. U., Mansano, C. F. M., Oliveira, T. S., Queiroz, D. M. A., ...Fernandes, J. B.K. (2020). Assessment of the ideal ratios of digestible essential amino acids for pacu (*Piaractus mesopotamicus*) juveniles by the amino acid deletion method. *Journal of World Aquaculture Society*. (In press).
- Bodin, N., Delfosse, G., Thu, T. T. N., Boulengé, E. L., Abboudi, T., Larondelle, Y., & Rollin, X. (2012). Effects of fish size and diet adaptation on growth performances



- and nitrogen utilization of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* W.) juveniles given diets based on free and/or protein-bound amino acids. *Aquaculture*, 356–357, 105–115. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.05.030>.
- Boisen, S., Hvelplund, T., & Weisbjerg, M. R. (2000). Ideal amino acid profiles as a basis for feed protein evaluation. *Livest Production Science*, 64, 239–251. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(99\)00146-3](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(99)00146-3).
- Boisen, S. (2003). Ideal dietary amino acid profiles for pigs. In: D'Mello, J. P. F., editor. *Amino acids in animal nutrition*. Edinburgh, UK: CABI Publishing, pp. 157–168.
- Chance, R. E., Mertz, E. T., & Halver, J. E. (1964). Nutrition of Salmonoid Fishes. *Journal of Nutrition*, 83, 177–185. <https://doi.org/10.1093/jn/83.3.177>.
- Cowey, C. B. (1994). Amino acid requirements of fish: a critical appraisal of present values. *Aquaculture*, 124, 1–11. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(94\)90349-2](https://doi.org/10.1016/0044-8486(94)90349-2).
- Cowey, C. B., & Luquet, P. (1983). Physiological basis of protein requirement of fishes. Critical analysis of allowances. In: Arnal, M., Pion, R. & Bonin, D., editors. *Protein metabolism and nutrition* (1st ed.). Paris: INRA, pp. 365–384.
- Dabrowski, K., Zhang, Y. F., Kwasek, K., Hliwa, P., & Ostaszewska, T. (2010). Effects of protein-, peptide- and free amino acid-based diets in fish nutrition. *Aquaculture Research*, 41, 668–683. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2010.02490.x>.
- Davies, S., Morris, P., & Baker, R. (1997). Partial substitution of fish meal and full fat soyabean meal with wheat gluten and influence of lysine supplementation in diets for rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). *Aquaculture Research*, 28, 317–328. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2109.1997.t01-1-00861.x>.
- Diógenes, A. F., Fernandes, J. B. K., Dorigam, J. C. P., Sakomura, N. K., Rodrigues, F. H. F., Lima, B. T. M., & Gonçalves, F. H. (2016). Establishing the optimal essential amino acid ratios in juveniles of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) by the deletion method. *Aquaculture Nutrition*, 22, 435–443. <https://doi.org/10.1111/anu.12262>.
- Fernandes, J. B. K., Carneiro, D. J., & Sakomura, N. K. (2000). Sources and levels of crude protein in diets for pacu (*Piaractus mesopotamicus*) fingerlings. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 29, 646–653. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982000000300002>.
- Fernandes, J. B. K., Carneiro, D. J., & Sakomura, N. K. (2001). Sources and levels of crude protein in diets for pacu (*Piaractus mesopotamicus*) fingerlings. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 30, 617–626. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982001000300003>.
- Fournier, V., Gouillou-Coustans, M. F., Me'tailler, R., Vachot, C., Guedes, M. J.,

- Francesca, T., ... Kaushik, S. (2002). Protein and arginine requirements for maintenance and nitrogen gain in four teleosts. *British Journal of Nutrition*, 87, 459–469. <https://doi.org/10.1079/BJNBJN2002564>.
- Fuller, M. F., McWilliam, R., Wang, T. C., & Giles, L. R. (1989). The optimum dietary amino acid pattern for growing pigs 2. Requirements for maintenance and tissue protein accretion. *British Journal of Nutrition*, 62, 255–267. <https://doi.org/10.1079/bjn19890028>.
- Fuller, M. F. (1994). Amino acid requirements for maintenance, body protein accretion and reproduction in pigs. In: D'Mello, J. P. F., editor. *Amino Acids in Farm Animal Nutrition*. Wallingford, UK: CAB International, pp. 155–184.
- Furuya, W. M. F. (2010). *Tabelas brasileiras para a nutrição de tilápias*. (1st ed.). Toledo: GFM.
- Green, J. A., & Hardy, R. W. (2002). The optimum dietary essential amino acid pattern for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), to maximize nitrogen retention and minimize nitrogen excretion. *Fish Physiology and Biochemistry*, 27, 97–108. <https://doi.org/10.1023/B:FISH.0000021878.81647.6e>.
- Heger, J., & Frydrych, Z. (1985). Efficiency of utilization of essential amino acids in growing rats at different levels of intake. *British Journal of Nutrition*. 54, 499–508. <https://doi.org/10.1079/bjn19850135>.
- Hu, M., Wang, Y., Wang, Q., Zhao, M., Xiong, B., Qian, X., ... Luo, Z. (2008). Replacement of fish meal by rendered animal protein ingredients with lysine and methionine supplementation to practical diets for gibel carp *Carassius auratus gibelio*. *Aquaculture*, 275, 260–265. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.01.005>.
- Jürss, K., & Bastrop, R. (1995). Amino acid metabolism in fish. In: Hochachka, P. W., Mommsen, T. P., editors. *Biochemistry and Molecular Biology of Fishes*, (4th ed.). Amsterdam: Elsevier – Metabolic Biochemistry, pp. 159–189.
- Kaushik, S. J., Fauconneau, B., Terrier, L., & Gras, J. (1988). Arginine requirement and status assessed by different biochemical indices in rainbow trout (*Salmo gairdneri* R.). *Aquaculture*, 70, 75–95. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(88\)90008-7](https://doi.org/10.1016/0044-8486(88)90008-7).
- Kaushik, S. J., & Seiliez, I. (2010). Protein and amino acid nutrition and metabolism in fish: Current knowledge and future needs. *Aquaculture Research*, 41, 322–332. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2009.02174.x>.

- Ketola, H. G. (1982). Amino acid nutrition of fishes: Requirements and supplementation of diets. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 73(B), 17–24.  
[https://doi.org/10.1016/0305-0491\(82\)90197-3](https://doi.org/10.1016/0305-0491(82)90197-3).
- Khan, K. U., Mansano, C. F. M., Nascimento, T. M. T., Boaratti, A. Z., Rodrigues, A. T., Queiroz, D. M. A., ... Fernandes, J. B. K. (2020). Whole-body amino acid pattern of juvenile, preadult, and adult pacu, *Piaractus mesopotamicus*, with an estimation of its dietary essential amino acid requirements. *Journal of the World Aquaculture Society*, 51, 224-234. <https://doi.org/10.1111/jwas.12600>.
- Law, G., Bertolo, R. F., Adjiri-Awere, A., Pencharz, P. B., & Ball, R. O. (2007). Adequate oral threonine is critical for mucin production and gut function in neonatal piglets. *American Journal of Physiology-Gastrointestinal and Liver Physiology*, 292, 1293-1301. <https://doi.org/10.1152/ajpgi.00221.2006>.
- Li, P., Mai, K., Trushenski, J., & Wu, G. (2009). New developments in fish amino acid nutrition: towards functional and environmentally oriented aquafeeds. *Amino acids*, 37, 43-53. <https://doi.org/10.1007/s00726-008-0171-1>.
- Machado, M. G. S., & Sgarbieri, V. C. (1991). Partial Characterization and Nutritive Value of Proteins from Pacu (*Colossoma mitrei*, Berg 1895). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 39, 1715-1718. <https://doi.org/10.1021/jf00010a003>.
- Mambrini, M., & Kaushik, S. J. (1994). Partial replacement of dietary protein nitrogen with dispensable amino acids in diets of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*, 109, 469-477. [https://doi.org/10.1016/0300-9629\(94\)90152-X](https://doi.org/10.1016/0300-9629(94)90152-X).
- Marammazi, J. G., Yaghoubi, M., Safari, O., Peres, H., & Mozanzadeh, M. T. (2017). Establishing the optimum dietary Essential amino acid pattern for silvery-black porgy (*Sparidentex hasta*) juveniles by deletion method. *Aquaculture Nutrition*, 23, 1483-1491. <https://doi.org/10.1111/anu.12524>.
- Mitchell, H. H. (1964). *Comparative nutrition of man and domestic animals*. New York, NY, USA: Academic Press.
- Nakashima, K., Ishida, A., Yamazaki, M., & Abe, H. (2005). Leucine suppresses myofibrillar proteolysis by down-regulating ubiquitin-proteasome pathway in chick skeletal muscles. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 336, 660-666. <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2005.08.138>.
- National Research Council - NRC (2011). *Nutrient requirements of fish and shrimp*.

- National Research Council (NRC), Washington, DC: National Academy Press.
- Nunes, A. J. P., Sá, M. V. C., Browdy, C. L., & Vazquez-Anon, M. (2014). Practical supplementation of shrimp and fish feeds with crystalline amino acids. *Aquaculture*, 431, 20-27. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.04.003>
- Ogino, C. (1980). Requirements of carp and rainbow trout for essential amino acids. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, 46, 171–174. <https://doi.org/10.2331/suisan.46.171>.
- Peres, H., & Oliva-Teles, A. (2005). The effect of dietary protein replacement by crystalline amino acid on growth and nitrogen utilization of turbot *Scophthalmus maximus* juveniles. *Aquaculture*, 250, 755-764. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.04.046>.
- Peres, H., & Oliva-Teles, A. (2009). The optimum dietary essential amino acid profile for gilthead seabream (*Sparus aurata*) juveniles. *Aquaculture*, 296, 81-86. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.04.046>.
- Portz, L., & Furuya, W. M. (2012). Energia, Proteína e Aminoácidos. In: Fracalossi, D. M., & Cyrino, J. E. P., editors. *Nutriaqua: nutrição e alimentação de espécies de interesse para a aquicultura brasileira*. Florianópolis: Sociedade Brasileira de Aquicultura e Biologia Aquática, p. 65-77.
- Rodrigues, A. T., Mansano, C. F. M., Khan, K. U., Nascimento, T. M. T., Boaratti, A. Z., Sakomura, N. K., & Fernandes, J. B. K. (2020). Ideal profile of essential amino acids for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in the finishing growth phase. *Aquaculture Research*. <https://doi.org/10.1111/are.14819>.
- Rollin, X., Mambrini, M., Abboudi, T., Larondelle, Y., & Kaushik, S. J. (2003). The optimum dietary indispensable amino acid pattern for growing Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fry. *British Journal of Nutrition*, 90, 865-876. <https://doi.org/10.1079/BJN2003973>.
- Sakomura, N. K., & Rostagno, H. S. (2016). Metodologia para avaliar o conteúdo de energia dos alimentos. In: Sakomura, N. K., & Rostagno, H. S., editors. *Métodos de Pesquisa em nutrição de monogástrico*. Jaboticabal: Funep, p. 31-66.
- Schuhmacher, A., Wax, C., & Gropp, J. M. (1997). Plasma amino acids in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed intact protein or a crystalline amino acid diet. *Aquaculture*, 151, 15-28. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(96\)01502-5](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(96)01502-5).
- Segovia-Quintero, M. A., & Reigh, R. C. (2004). Coating crystalline methionine with

- tripalmitin–polyvinyl alcohol slows its absorption in the intestine of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture*, 238, 355-367. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.05.023>.
- Specian, R. D., & Oliver, M. G. (1991). Functional biology of intestinal goblet cells. *American Journal of Physiology*, 260, 183-193. <https://doi.org/10.1152/ajpcell.1991.260.2.C183>.
- Tacon, G. J. (1982). The nutrition and feeding of farmed fish and shrimp - A training manual, 2. Essential nutrients - Proteins and Amino acids. *Food and Agriculture Organization (FAO)*. Link for access: <http://www.fao.org/3/ab470e/AB470E00.htm#TOC>.
- Tacon, A. G. J. & Cowey, C. B. (1985). Protein and amino acid requirements. In: Tytler, P., & Calow, P., editors. *Croom Helm Fish energetics: new perspectives*, Ltd., London and Sydney, pp. 155–183.
- Vijayan, M. M., Mommsen, T. P., Glémet, H. C., & Moon, T. W. (1997). Metabolic effects of cortisol treatment in marine teleost, the sea raven. *Journal Experimental Biology*, 199, 1509-1514.
- Wang, T. C., & Fuller, M. F. (1989). The optimum dietary amino acid pattern for growing pigs: 1. Experiments by amino acid deletion. *British Journal of Nutrition*, 62, 77-89. <https://doi.org/10.1079/bjn19890009>.
- Williams, K., Barlow, C., & Rodgers, L. (2001). Efficacy of crystalline and protein-bound amino acid enrichment of diets for barramundi/Asian seabass (*Lates calcarifer* Bloch). *Aquaculture Research*, 32, 415–429. <https://doi.org/10.1046/j.1355-557x.2001.00032.x>.
- Wilson, R. P. (2003). Amino acid requirements of finfish and crustaceans. In: D’Mello, J. P. F, editor. *Amino Acids in Animal Nutrition*. Wallingford, Oxon: CAB International, p. 427–47
- Wilson, R. P. (2002). Protein and amino acids. In: Halver, J. E., & Hardy, R. W., editors. *Fish Nutrition*. San Diego, USA: Elsevier Science, p. 144-179.
- Wilson, R. P., & Poe, W. E. (1985). Relationship of whole body and egg essential amino acid patterns to amino acid requirement patterns in Channel catfish, *Ictalurus punctatus*. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 80B, 385–388. [https://doi.org/10.1016/0305-0491\(85\)90224-X](https://doi.org/10.1016/0305-0491(85)90224-X).

Wilson, R.P. & C.B. Cowey. (1985). Amino acid composition of whole body tissue of rainbow trout and Atlantic salmon. *Aquaculture*, 48, 373–376.

Wilson, R.P., 1985 Amino acid and protein requirements of fish. In: Cowey, C. B., Mackie, A. M., & Bell, J. G., editors. *Nutrition and feeding in fish*. London: Academic Press pp. 1–16.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Os resultados de retenção de nitrogênio obtidos mostram que a redução dos AAEs, em média 41,72%, afetou diretamente o desempenho zootécnico e a deposição de nitrogênio corporal no pacu adulto.

Para a formulação de dietas práticas e experimentais faz-se necessário que já tenha sido determinado a exigência de um dos aminoácidos essenciais, para ser utilizada o perfil determinado para cálculo de inclusão dos demais aminoácidos essenciais. O método de deleção, por ser uma ferramenta rápida, pode ser utilizada para espécies com potencial de produção que ainda não apresentam informações sobre suas exigências, principalmente peixes nativos, onde o conhecimento do nível de um único AAE permite a formulação de uma dieta balanceada.

O método apresenta vantagem de não ter influência de fatores internos ou externos, como pode-se observar em estudos de exigência, podendo ser aplicado para qualquer espécie. Portanto, o perfil encontrado no presente trabalho deve ser considerado para auxiliar a formulação de dietas para pacus adultos.

A padronização do método de deleção permitirá aos pesquisadores a realização de estudos com procedimentos rápidos e de baixo custo para estimar e avaliar a relação ideal entre os aminoácidos essenciais, não somente para o pacu nas diversas fases do crescimento, assim como para outras espécies de peixe.