



# SEMANA DE ENGENHARIA DE PESCA

ENGENHARIA DE PESCA EXPLORANDO NOVAS FRONTEIRAS:  
TECNOLOGIA, PESQUISA E SUSTENTABILIDADE.



## PESQUISA OPERACIONAL APLICADA NA FORMULAÇÃO DE RAÇÃO PARA TILÁPIA-DO-NILO (*Oreochromis niloticus*)

Lisboa, L.<sup>1</sup>; Hilbig, C. C.<sup>2</sup>; Silva, U. L.<sup>3</sup>; Oliveira, D. C.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>[lucas.lisboa@ufrpe.br](mailto:lucas.lisboa@ufrpe.br), UFRPE/UAST, Bacharelado em Engenharia de Pesca;  
<sup>2</sup>[cleonice.hilbig@ufrpe.br](mailto:cleonice.hilbig@ufrpe.br) UFRPE/UAST, Docente; <sup>3</sup>[ugo.silva@ufrpe.br](mailto:ugo.silva@ufrpe.br) UFRPE/UAST, Docente;  
<sup>4</sup>[demacio.oliveira@ufrpe.br](mailto:demacio.oliveira@ufrpe.br), UFRPE/UAST, Docente;

### Resumo

A piscicultura no Brasil tem crescido nos últimos anos, com a tilápia sendo a espécie mais produzida. Contudo, o custo com a ração representa mais da metade do custo total de produção. Por outro lado, a fabricação de uma ração combina diferentes ingredientes a fim de atender as exigências nutricionais de cada espécie, em um período específico do seu ciclo de vida. Diante disso, o presente trabalho apresenta um modelo matemático, de programação linear, para a fabricação de uma ração para a tilápia na fase de pós-reversão sexual até 100g, que inclui no conjunto de restrições as exigências nutricionais e minimiza o custo da fabricação da ração, diante do conjunto de alimentos considerados. O custo da ração obtida, como solução do modelo matemático proposto, ficou abaixo do limite de viabilidade econômica.

**Palavras-chave:** Piscicultura; Programação Linear; Viabilidade Econômica;

### 1. INTRODUÇÃO

No Brasil, a piscicultura tem se desenvolvido de maneira consistente nos últimos anos, com progressos significativos em termos de produção e qualificação (Pedroza Filho *et al.*, 2020). Na piscicultura, a tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*) é a espécie mais recomendada devido à sua adaptação ao manejo alimentar e à alta tolerância à densidade de estocagem (Martins, Franco e de Nardi Junior, 2023). No entanto, a ração tem um impacto significativo na produção, sendo determinante para o sucesso do cultivo e representando de 60 a 70% do custo total (Weber, 2022). A ração do cultivo é obtida através da sua formulação, sendo uma combinação de ingredientes, visando fornecer uma quantidade adequada de nutrientes a um animal em suas diversas etapas do metabolismo (da Silva *et al.*, 2021).

Por outro lado, a pesquisa operacional (PO) é um método científico que utiliza modelos matemáticos, estatísticos e algoritmos para auxiliar na tomada de decisões e na otimização de processos (Arenales *et al.*, 2007). Entre as áreas de atuação da PO, a Programação Linear (PL) visa maximizar ou minimizar uma função linear sujeita a restrições lineares (Bazaraa, Jarvis e Sherali, 2011). Dentre os casos de aplicação da PL, destaca-se o problema da mistura, que consiste em combinar ingredientes para criar produtos com características desejadas (Arenales *et al.*, 2007). Assim, o objetivo deste trabalho é aplicar a PO, mais especificamente a PL, em um problema de mistura para a formulação de uma ração para tilápia-do-Nilo (*O. niloticus*).

### 2. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo foi dividido em duas etapas: a primeira consistiu de um estudo sobre o problema da mistura, e a segunda na modelagem matemática para

a fabricação de uma ração para tilápia na fase de pós-reversão sexual até 100g que contenha os nutrientes essenciais para seu desenvolvimento e minimize o custo de fabricação, dado um conjunto limitado de alimento disponíveis para a fabricação da ração.

## 2.1. Formulação matemática do problema da mistura

No problema de mistura, deseja-se estimar as quantidades de ingredientes a serem utilizadas para obter uma mistura com a composição específica e o menor custo (Arenales *et al.*, 2007). Sendo definido pela seguinte expressão:

$$\begin{aligned} \text{Minimize } f(x_1, x_2, \dots, x_n) &= c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n \\ \text{Sujeito a } \begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n = b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n = b_2 \\ \dots \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n = b_m \\ x_1 + x_2 + \dots + x_n = 1 \\ x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, \dots, x_n \geq 0 \end{cases} \end{aligned}$$

As variáveis de decisão  $x_n$  representa as quantidades de cada ingrediente a ser determinada em uma unidade de mistura e devem ser não negativas, ( $x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, \dots, x_n \geq 0$ ). As restrições referem-se à composição da mistura e seu custo, onde  $a_{mn}$  é a fração do componente  $m$  no ingrediente  $n$ ,  $b_m$  é a fração  $m$  na mistura  $m$  e  $c_n$  é o custo de unidade do ingrediente  $n$ . A soma das quantidades dos ingredientes deve ser igual a uma unidade, ( $x_1 + \dots + x_n = 1$ ). O custo total (função objetivo) da unidade de mistura é a soma dos custos dos ingredientes utilizados, representado por ( $c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$ ) (Arenales *et al.*, 2007).

## 2.2. Aplicação do problema da mistura na formulação ração para tilápia

Os ingredientes (variáveis de decisão) foram selecionados com base na tabela proposta por Furuya *et al.* (2010), sendo:  $x_1$  (farelo de algodão),  $x_2$  (farelo de arroz),  $x_3$  (quirera de arroz),  $x_4$  (farinha de carne e ossos),  $x_5$  (milho em grão),  $x_6$  (farinha de peixe),  $x_7$  (farinha de penas),  $x_8$  (farinha de sangue),  $x_9$  (farelo de soja),  $x_{10}$  (farelo de trigo),  $x_{11}$  (farinha de vísceras) e  $x_{12}$  (farelo de coco). Posteriormente, as restrições foram adicionadas com base nas exigências nutricionais da tilápia após a reversão sexual até 100g.. Logo, foram definidas restrições superiores ( $\geq$ ) para Energia Digestível (ED) de 3036 kcal/kg, Proteína Bruta (PB) de 29,73%, Proteína Digestível (PD) de 26,81%, e níveis de aminoácidos essenciais como lisina, metionina, entre outros (Furuya *et al.*, 2010). A partir dessas necessidades, coletaram-se os dados nutricionais dos ingredientes (Furuya *et al.*, 2010), e os aminoácidos essenciais do farelo de coco (Pascoal *et al.*, 2006). Os limites de inclusão dos ingredientes na ração foram de no máximo 40%  $x_1$ , 15%  $x_4$  e  $x_{12}$ , 16%  $x_6$ , 10%  $x_8$ , 17%  $x_9$  e 20%  $x_{11}$  (Furuya *et al.*, 2010). O milho é essencial para a extrusão dos pellets (Fracalossi; Cyrino, 2012), logo foi estabelecida uma restrição mínima de 20% para o  $x_5$ . A inclusão é devido ao seu alto coeficiente de digestibilidade (Furuya *et al.*, 2010). Para a função objetivo, foi feito uma pesquisa do valor por kg dos ingredientes, onde:  $x_1$  (R\$ 1,08),  $x_2$  (R\$ 0,80),  $x_3$  (R\$ 2,50),  $x_4$  (R\$ 4,30),  $x_5$  (R\$ 1,48),  $x_9$  (R\$ 1,75),  $x_{10}$  (R\$ 0,70) e  $x_{12}$  (R\$ 1,00) (MF Rural, 2024);  $x_6$  (R\$ 2,60),  $x_7$  (R\$ 2,20),  $x_8$  (R\$ 2,45) e  $x_{11}$  (R\$ 2,85) (Editora Stilo, 2024).

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O modelo matemático foi resolvido por meio de um programa desenvolvido por Lisboa e Oliveira (2023), que resolve problemas de Programação Linear. A solução ótima obtida é apresentada na Tabela 1 e a de aminoácidos essenciais das misturas desses ingredientes são apresentados na Tabela 2.

**Tabela 1** – Composição da ração, quantidades de ingredientes.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	R\$/Kg
<b>Aplicação (%)</b>	0	0	0	0	20	0	10	0	16	29	10	15	1,43

A = Algodão Farelo ( $x_1$ ); B = Arroz Farelo ( $x_2$ ); C = Arroz quirera ( $x_3$ ); D = Farinha de carne e ossos ( $x_4$ ); E = Milho em grão ( $x_5$ ); F = Farinha de peixe ( $x_6$ ); G = Farinha de penas ( $x_7$ ); H = Farinha de sangue ( $x_8$ ); I = Farelo de soja ( $x_9$ ); J = Farelo de trigo ( $x_{10}$ ); K = Farinha de vísceras ( $x_{11}$ ); L = Farelo de coco ( $x_{12}$ ).

Destaca-se na Tabela 1 que o custo de fabricação da ração foi de R\$ 1,43/kg, sendo constituída por 20% de milho em grão, 10% de farinha de penas, 16% de farelo de soja, 29% de farelo de trigo e 15% de farelo de coco. Segundo Fracalossi e Cyrino (2012), o custo da ração não deve ultrapassar 25% do valor de mercado final da espécie estabelecida para o cultivo. De acordo com o Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA, 2024), o custo médio de venda da tilápia é de R\$ 8,11/kg. Assim, como o custo de fabricação da ração foi de R\$ 1,43/kg, ou seja, 17,61% do custo final de venda da tilápia, torna-se um preço atrativo.

**Tabela 2** – Aminoácidos essenciais presente na composição da ração.

	Li.	Me.	Me.+Ci.	Tr.	Ar.	Fe.+Ti.	Hi.	Is.	Le.	Tp.	Va.
<b>A</b>	1,53	0,56	1,03	1,26	2,00	1,97	0,52	1,25	2,17	0,33	1,63

A = Composição de aminoácidos da aplicação. Li = Lisina; Me = Metionina; Me.+Ci. = Metionina+Cistina; Tr. = Treonina; Ar. = Arginina; Fe.+Ti = Fenilalanina + Tirosina; Hi. = Histidina; Is. = Isoleucina; Le. = Leucina; Tp. = Triptofano e Va. = Valina.

Diante da Tabela 2, observa-se que todos os aminoácidos obtiveram resultados iguais ou superiores às restrições estabelecidas na aplicação, acontecendo o mesmo com os valores de ED (3036 kcal kg<sup>-1</sup>), PB (31,02%) e PD (26,81%), condizendo com o que foi proposta na aplicação. De acordo com Furuya et al. (2010), os aminoácidos essenciais mais importantes para as rações de peixes são a lisina, a metionina, a treonina e o triptofano. A lisina e a metionina são, geralmente, os mais dietéticos, sendo a lisina o aminoácido essencial mais presente no corpo e no filé de tilápia-do-Nilo. Logo, os aminoácidos de maior importância para ração de peixes apresentaram resultados até 10% maiores ao limite inferior estabelecido. Destaca-se ainda que aminoácidos como arginina, leucina e valina apresentaram altos valores isso ocorreu devido às restrições definidas no modelo matemático e do conjunto de ingredientes selecionados. Como sugestão para estudos futuros recomenda-se aumentar a quantidade de ingredientes, analisar a inclusão de aminoácidos sintéticos, adicionar restrições relacionadas a arginina, leucina, valina, etc. A fim de adequar o modelo matemático ao tipo de ração desejada

#### 4. CONCLUSÕES

O modelo matemático proposto para reduzir o custo de fabricação de uma ração, considerando as necessidades nutricionais da tilápia apresentou 17,61% do custo médio de venda, indicando que a produção dessa ração seria economicamente viável.



# SEMANA DE ENGENHARIA DE PESCA

ENGENHARIA DE PESCA EXPLORANDO NOVAS FRONTEIRAS:  
TECNOLOGIA, PESQUISA E SUSTENTABILIDADE.



## 5. REFERÊNCIAS

ARENALES, Marcos Nereu *et al.* **Pesquisa operacional.** 2007.

BAZARAA, Mokhtar S.; JARVIS, John J.; SHERALI, Hanif D. **Linear programming and network flows.** John Wiley & Sons, 2011.

**CEPEA - Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada - PREÇOS AGROPECUÁRIOS.** Indicador de Tilápia. 2024, disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/indicador/tilapia.aspx> Acesso: 24 ago. 2024.

DA SILVA, Ana Riquelle Barbosa *et al.* **Formulação de ração para tilápia com substituição de ingredientes convencionais por ingredientes alternativos.** Diversitas Journal, v. 6, n. 3, p. 3683–3693, 2021.

**EDITORA ESTILO.** Cotações. Disponível em: <https://www.editorastilo.com.br/cotacoes/>. Acesso: 22 ago. 2024.

FURUYA, Wilson Massamitu *et al.* **Tabelas brasileiras para a nutrição de tilápias.** 2010.

FRACALOSSI, Débora Machado; CYRINO, Jose Eurico Possebon. **Nutriaqua: nutrição e alimentação de espécies de interesse para a aquicultura brasileira.** 2012.

LISBOA, Lucas; OLIVEIRA, Demacio Costa. Pesquisa operacional aplicada em um problema de dieta: desenvolvimento de um programa baseado no método Simplex. Em: **ANAIS DO V SIMPÓSIO DE AQUICULTURA DE RECURSOS PESQUEIROS, 2023**, Serra Talhada. UFRPE/UAST, 2023. p. [04]. ISSN 2526-902X. Disponível em: <https://drive.google.com/file/d/1r9LOcOq6HUpc1VdxcX9r281KMtiAkA3K/view>. Acesso: 24 ago. 2024.

MARTINS, Telma Cristina; FRANCO, José Rafael; DE NARDI JUNIOR, Geraldo. **MERCADO BRASILEIRO DE CRIAÇÃO DE TILÁPIA DO NILO. 2023. XII JORNACITEC-Jornada Científica e Tecnológica.**

**MF RURAL.** Disponível: <https://www.mfrural.com.br/>. Acesso: 22 ago. 2024.

PASCOAL, Leonardo Augusto Fonseca *et al.* **Valor nutritivo do farelo de coco em dietas para monogástricos, revisão.** Revista Eletrônica Nutritime, v. 3, n. 1, p. 305–312, 2006.

PEDROZA FILHO, Manoel Xavier *et al.* **O mercado de peixes da piscicultura no Brasil: estudo do segmento de supermercados.** Palmas, TO: Embrapa Pesca e Aquicultura, 2020. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/215540/1/CNPASA-2020-bpd25.pdf>. Acesso em: 5 set. 2024.

WEBER, Cicero Augusto. **Alimentador automatizado de baixo custo para piscicultura, 2022.** Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/238073>. Acesso em: 5 set. 2024.