



## Modelos não lineares de crescimento da tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*) na linhagem Chitralada.

Willian Renato da Silva<sup>1,3</sup>; Patrícia Santana da Paixão<sup>2,3</sup>; Wenderson Moura de Carvalho<sup>1,3</sup>; Daniela Ferraz Bacconi Campeche<sup>4</sup>; Hugo Colombarolli Bonfá<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Parte do trabalho de iniciação científica do primeiro autor, bolsista PIBIC/CCA/UNIVASF; <sup>2</sup>Parte do trabalho de conclusão de curso do segundo autor.; <sup>3</sup>Graduando em Zootecnia, Petrolina, PE; <sup>4</sup>Pesquisador Embrapa Semiárido, Petrolina, PE; <sup>5</sup>Professor Adjunto CCA/UNIVASF, Petrolina, PE

**Resumo:** Objetivou-se com este estudo avaliar e comparar diferentes modelos de crescimentos ajustados para descrever a relação peso corporal/idade da tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*) da linhagem Chitralada criadas em tanques-rede. O presente estudo foi conduzido pela CODEVASF / Embrapa Semiárido - CPATSA, em uma piscicultura comercial localizada na cidade de Juazeiro - BA. O banco de dados utilizado foi composto pelo peso corporal oriundo de sete biometrias realizadas em cada tanque-rede do início da criação ao abate dos peixes. As biometrias foram realizadas nos tempos 30, 60, 90, 150, 180, 240 e 270 dias, sendo cada biometria composta por 81 pesagens, totalizando em 567 medidas. Para o peso corporal foram ajustados os modelos de crescimento de Brody, Von Bertalanffy, Gompertz, Logistics e Richards em função do tempo. A escolha do modelo que melhor descrevesse a curva de crescimento da tilápia-do-nilo foi realizada pelo critério do coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{Aj}$ ), o desvio padrão residual (DPR), o critério de informação de Akaike (AIC) e o critério bayesiano de Schwarz (BIC). Dentre os modelos avaliados, apenas o modelo de Brody não apresentou convergência para o peso corporal da tilápia-do-nilo. Os demais modelos ajustados apresentaram  $R^2_{Aj}$  semelhantes, apontando alteração apenas na terceira casa decimal. Comportamento semelhante foi observado ao DPR, mostrando que os resíduos destes modelos comportam de forma semelhante. Entretanto, para o AIC e BIC o modelo de Von Bertalanffy apresentou os melhores valores. O modelo de Von Bertalanffy apresentou-se como o mais adequado para a descrição da relação peso corporal/idade da tilápia-do-nilo, linhagem Chitraladacriadas em tanques-rede, fornecendo parâmetros com interpretações e valores que condizem com a realidade.

**Palavras-chave:** Não lineares; *Oreochromis niloticus*; Tanques-rede

## Nonlinear growth models of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) of the Chitralada strains.

**Abstract:** The aim of the study was to compare different growth models of weight-age relationship of the Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) Chitralada strains produced in net cages. The current study was conducted by CODEVASF / EmbrapaSemiárido - CPATSA, in commercial fish farming in Juazeiro city - Bahia/Brazil. The dataset used and composed by body weight of seven biometrics performed in each cage from the beginning of the breeding until the harvest of the fish. The biometrics was performed at times 30, 60, 90, 150, 180, 240 and 270 days, being increasingly composed by 81 weights, totaling 567 measurements. For body weight was adjusted to the growth nonlinear models of Brody, Von Bertalanffy, Gompertz, Logistics and Richards. The selection of the model that best fitted the growth curve of Nile tilapia was performed by the criterion of the determination coefficient adjusted ( $R^2_{Aj}$ ), residual standard error (DPR), Akaike information criterion (AIC), and Bayesian information criterion (BIC). Among the models, only the Brody model did not convergence for the body weight of Nile tilapia. The other adjusted models presented similar  $R^2_{Aj}$ , pointing to the change only in the third decimal place. Behavior exclusive to DPR observation, showing the residues of these models in a similar way. However, for the AIC and BIC of Von Bertalanffy model presented the best fitted. The model of von Bertalanffy was presented as the most appropriate for a description of the weight-age ratio of the Nile tilapia, Chitralada strains produced in net cages, based on parameters with interpretations and values that are consistent with reality.

**Keywords:** Non-linear; *Oreochromis niloticus*; Cages

### INTRODUÇÃO

A aquicultura brasileira destaca-se como sendo a segunda maior da América do Sul, representando 1% de toda a produção mundial (FAO, 2016). Na produção brasileira, destaca-se a região Nordeste a qual apresenta 63% da sua produção derivada da criação da tilápia-do-nilo, esta em sua maioria criada em tanques-rede (IBGE, 2015). O destaque da região Nordeste, se dá devido à captação de pacotes tecnológicos avançados e ao grande incentivo governamental na região.

Devido à implementação destes pacotes tecnológicos avançados, surge à necessidade de maior controle de qualidade, visando assim uma maior produtividade. Uma das metodologias utilizadas para melhorar a qualidade da produção é o estudo do crescimento

por meio do ajuste de modelos estatísticos. Tais modelos condensam informações relevantes à produção, por meio da estimação de parâmetros interpretáveis que permitem estimar taxas de crescimento, comportamento de ganho de peso e peso a maturidade.

O ajuste dos modelos de crescimento se dá por meio de modelos não lineares do tipo sigmoide, curva característica que descreve o crescimento durante a vida, ou seja, o crescimento durante a primeira fase da vida é lento, seguido de um período de auto aceleração, até atingir o ponto máximo da taxa de crescimento e estabilização do peso corporal na fase adulta. Dentre os modelos não lineares mais utilizados para descrever o comportamento de crescimento de peixes, destaca-se os modelos de Brody, Von Bertalanffy, Gompertz, Logístico e Richards.

## OBJETIVOS

Este estudo teve como objetivo avaliar e comparar os diferentes modelos de crescimentos ajustados para descrever a relação peso corporal/idade da tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*) da linhagem Chitraladacriadas em tanques-rede.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Os dados utilizados no presente estudo são provenientes de um experimento previamente conduzido pela CODEVASF / Embrapa Semiárido - CPATSA, em uma piscicultura comercial localizada na cidade de Juazeiro - BA, no período de setembro a março. O estudo teve como objetivo avaliar o ciclo completo de produção da tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*) da linhagem Chitralada criadas em tanques-rede.

No devido experimento foram utilizados alevinos com peso médio inicial de  $10,53 \pm 2,17$ g. A alimentação dos peixes durante o experimento foi realizada por meio da oferta de três rações comercial extrusadas, a ração inicial ofertada era composta por 44% de proteína bruta e de acordo com a evolução dos peixes o conteúdo de proteína bruta por ajustado para 36% seguido de 32% de proteína bruta. A quantidade de alimento ofertado foi determinada com base na biomassa: proporção de 3 e 4%. Durante a condução do experimento, foram realizadas análises de monitoramento dos parâmetros físico-químicos da água.

O banco de dados utilizado foi composto pelo peso corporal oriundo de sete biometrias realizadas em cada tanque-rede do início da criação ao abate dos peixes. As biometrias foram realizadas nos tempos 30, 60, 90, 150, 180, 240 e 270 dias, sendo cada biometria composta por 81 pesagens, totalizando em 567 medidas.

Para o peso corporal foram ajustados os modelos de crescimento de Brody, Von Bertalanffy, Gompertz, Logistics e Richards em função do tempo (Tabela 1).

**Tabela 1.** Funções não lineares utilizadas para descrever a relação peso corporal/idade da tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*) da linhagem Chitraladacriadas em tanques-rede

| Modelo          | Equação                            |
|-----------------|------------------------------------|
| Brody           | $Y_i = A(1 - Be^{-kt}) + e_i$      |
| Von Bertalanffy | $Y_i = A(1 - Be^{-kt})^3 + e_i$    |
| Gompertz        | $Y_i = A * \exp(-Be^{-kt}) + e_i$  |
| Logístico       | $Y_i = A(1 + Be^{-kt})^{-1} + e_i$ |
| Richards        | $Y_i = A(1 + Be^{-kt})^M + e_i$    |

Nos modelos apresentados na Tabela 1,  $Y_i$  representa o valor do peso corporal no tempo  $i$ ;  $t_i$  é o tempo de vida em dias, sendo  $i = 1, 2, 3, \dots, 270$  e  $e_i$  representa o erro aleatório associado à  $i$ -ésima observação, pressupõe-se que este seja normalmente distribuído e independente com variância constante, ou seja,  $e_i \sim N(0, I\sigma^2)$ .

De uma forma geral os modelos não-lineares utilizados para descrever o crescimento apresentam alguns parâmetros com interpretações biológicas semelhantes. O parâmetro  $A$  representa o peso máximo ou o peso assintótico; O parâmetro  $B$  é um parâmetro de integração, este sem interpretação biológica direta;  $k$  representa a taxa de crescimento relativo ao peso assintótico ou taxa de crescimento relativo à maturidade e  $M$ , presente apenas no modelo de Richards, é o parâmetro de inflexão da curva, ou seja, o momento em que o crescimento desacelera e tende a constância. Nos modelos de Brody, Von Bertalanffy, Logístico e Gompertz, o parâmetro  $M$  é dado por uma contante, sendo Brody  $M = 1$ , Von Bertalanffy  $M = 3$ , Logístico  $M = -1$  e no modelo de Gompertz  $M \rightarrow \infty$ .

Visando ajustar os modelos de crescimento propostos na Tabela 1, a estimativa dos parâmetros das equações da análise do peso corporal em função da idade foi feita pelo método dos mínimos quadrados, por meio da função nls, do pacote stats do software R, com o auxílio do algoritmo Gauss-Newton para obtenção da convergência. Para a escolha do modelo que melhor descrevesse a curva de crescimento da tilápia-do-nilo, foram utilizados o critério do coeficiente de determinação ajustado ( $R^2Aj$ ), o desvio padrão residual (DPR), o critério de informação de Akaike (AIC) e o critério bayesiano de Schwarz (BIC).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os avaliadores de qualidade dos modelos ajustados, representado pelo coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{Aj}$ ), desvio padrão residual (DPR), critério de informação de Akaike (AIC) e critério bayesiano de Schwarz (BIC), estão apresentados na Tabela 2.

Dentre os modelos avaliados, apenas o modelo de Brody não apresentou convergência para o peso corporal da tilápia-do-nylo. Os demais modelos ajustados apresentaram  $R^2_{Aj}$  semelhantes, apontando alteração apenas na terceira casa decimal. Comportamento semelhante foi observado ao DPR, mostrando que os resíduos destes modelos comportam de forma semelhante. Entretanto, para o AIC e BIC o modelo de Von Bertalanffy apresentou os melhores valores, pois, tanto para o AIC quanto o BIC os valores aumentam conforme a imprecisão do modelo aumenta. Além disso, ambos os critérios selecionam modelos mais parcimoniosos, ou seja, modelos com muitas variáveis a serem estimadas são penalizados.

**Tabela 2.** Estimativas dos critérios de seleção; coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{Aj}$ ), desvio padrão residual (DPR), critério de informação de Akaike (AIC) e critério de Schwarz (BIC) para os modelos de crescimento ajustados, na análise do peso corporal em função da idade da tilápia-do-nylo, linhagem Chitralada criadas em tanques-rede

| Modelo          | Critérios de seleção |        |         |         |
|-----------------|----------------------|--------|---------|---------|
|                 | $R^2_{Aj}$           | DPR    | AIC     | BIC     |
| Brody           | nc                   | nc     | nc      | nc      |
| Von Bertalanffy | 0,8180               | 0,1987 | -218,34 | -200,98 |
| Gompertz        | 0,8175               | 0,1990 | -216,76 | -199,40 |
| Logístico       | 0,8146               | 0,2006 | -207,74 | -190,38 |
| Richards        | 0,8180               | 0,1989 | -216,51 | -194,81 |

nc = não convergiu ou não ajustou

Pequenas diferenças para os valores das estimativas dos parâmetros dos modelos Von Bertalanffy, Gompertz, Logístico e Richards são verificadas (Tabela 3). Analisando estas estimativas, verifica-se que as maiores diferenças estão nas estimativas do parâmetro  $B$ , entretanto o parâmetro  $B$  não apresenta uma interpretação biológica direta, a interpretação deste deve ser realizada apenas pelo seu sinal (positivo ou negativo), que indica o sentido da curva. Logo, verifica-se que o parâmetro  $B$  para todos estes modelos apresenta o sinal positivo, descrevendo um crescimento ascendente, característica da relação peso corporal/idade.

Para as estimativas dos parâmetros  $A$  e  $k$ , apesar das pequenas diferenças, não é verificado a presença de nenhum valor discrepante, ou seja, todas as estimativas para os parâmetros  $A$  e  $k$  estão condizentes com a realidade.

**Tabela 3.** Estimativas dos parâmetros dos modelo de Von Bertalanffy, Gompertz, Logístico e Richards na análise do peso corporal em função da idade da tilápia-do-nylo, linhagem Chitraladacriadas em tanques-rede

| Modelo          | Parâmetros |         |        |        |
|-----------------|------------|---------|--------|--------|
|                 | $A$        | $B$     | $k$    | $M$    |
| Von Bertalanffy | 2,3509     | 0,9258  | 0,0056 | -      |
| Gompertz        | 1,7701     | 5,1395  | 0,0093 | -      |
| Logístico       | 1,3255     | 38,8995 | 0,0207 | -      |
| Richards        | 2,8747     | 1,0221  | 0,0041 | 2,1660 |

Estes resultados indicam que o comportamento sigmoide, característica da relação peso corporal/idade foi respeitado por todos os modelos, exceto o modelo de Brody, o qual não convergiu. Entretanto, o modelo de Von Bertalanffy apresentou melhores valores para os critérios de seleção AIC e BIC, apresentando maior precisão.

## CONCLUSÃO

O modelo de Von Bertalanffy apresentou-se como o mais adequado para a descrição da relação peso corporal/idade da tilápia-do-nylo, linhagem Chitralada criadas em tanques-rede, fornecendo parâmetros com interpretações e valores que condizem com a realidade.

## APOIO

Agradecemos a EMBRAPA pela parceria que possibilitou a realização dessa pesquisa e a Universidade Federal do Vale do São Francisco - UNIVASF pelo apoio financeiro.

## REFERÊNCIAS

## Extensão Rural e Desenvolvimento Sustentável

The logo for CNPA 2017 is located in the top right corner. It consists of a blue square containing three concentric circles of varying shades of blue. The text "CNPA" is written in white above the number "2017", which is also in white.

FAO, *The State of World Fisheries and Aquacultures 2016: Contributing to food security and nutrition for all*, FAO, Rome, 200pp, 2016,

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-IBGE, *Produção pecuária municipal*, Rio de Janeiro, 2015, Acesso em: 2017.