



República Federativa do Brasil
Ministério da Economia
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(21) BR 102021000668-4 A2



(22) Data do Depósito: 14/01/2021

(43) Data da Publicação Nacional: 26/07/2022

(54) **Título:** MÉTODOS DE MODELAGENS PARA ESTIMATIVAS, PROGNÓSTICOS E ANÁLISES DE CRESCIMENTO DE PEIXES E CRUSTÁCEOS EM AQUICULTURA

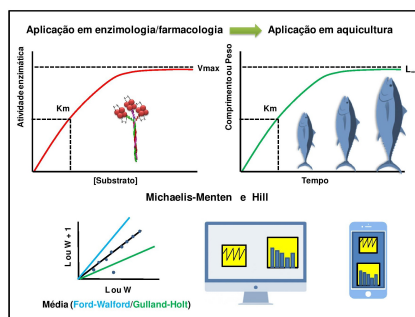
(51) **Int. Cl.:** A01K 61/10; A01K 61/59.

(52) **CPC:** A01K 61/10; A01K 61/59.

(71) **Depositante(es):** UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO; UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO.

(72) **Inventor(es):** CAIO RODRIGO DIAS DE ASSIS; JULIANA FERREIRA DOS SANTOS; BRUNO OLIVEIRA DE VERAS; VAGNE DE MELO OLIVEIRA; RANILSON DE SOUZA BEZERRA.

(57) **Resumo:** MÉTODOS DE MODELAGENS PARA ESTIMATIVAS, PROGNÓSTICOS E ANÁLISES DE CRESCIMENTO DE PEIXES E CRUSTÁCEOS EM AQUICULTURA. A presente proposta refere-se à aplicação de métodos das áreas de bioquímica e farmacologia na avaliação de crescimento em piscicultura e carcinicultura, caracterizada por utilizar os métodos de Michaelis-Menten (e suas linearizações: Lineweaver-Burk, Dixon, Eadie-Hofstee, Hanes-Woolf e Cornish-Bowden), função de Hill e função média entre Ford-Walford e Gulland-Holt, utilizando dados de peso e comprimento. Tal utilização de Michaelis-Menten determina os parâmetros: k_{de} , constante de desempenho específico do peixe ou crustáceo de um cultivo; k_{de}/t , descreve tal desempenho específico, em função do tempo; k_{fn} e $k_{fn}^?$, parâmetros inversamente proporcionais à interação entre os animais cultivados e um dado fator negativo ou mais de um fator negativo, respectivamente. A função de Hill, em aquicultura, permite a obtenção do parâmetro n_{fp} , que representa sítios de interação com fatores positivos do cultivo de peixes ou crustáceos. Visando também solucionar os problemas de superestimação (Ford-Walford) e subestimação (Gulland-Holt) dos parâmetros de Von Bertalanffy, foi proposta a utilização de uma função intermediária, aqui denominada função FG, que favorece a obtenção de valores iniciais mais ajustáveis à curva de (...).



MÉTODOS DE MODELAGENS PARA ESTIMATIVAS, PROGNÓSTICOS E ANÁLISES DE CRESCIMENTO DE PEIXES E CRUSTÁCEOS EM AQUICULTURA

Campo da invenção

[001] O presente processo refere-se à nova aplicação de métodos pré-existentes das áreas de bioquímica e farmacologia (Michaelis-Menten e suas linearizações, Hill e função média entre Ford-Walford e Gulland-Holt) para avaliação de crescimento de peixes e crustáceos em cultivos ou em ambientes naturais, bem como para prognósticos e projeções de crescimento, objetivando subsidiar a elaboração e futuro registro de softwares especializados na área supracitada. As aplicações do presente processo de avaliação de crescimento relacionam-se às áreas de piscicultura e carcinicultura, englobando aspectos biológicos e nutricionais dos animais.

Fundamentos da invenção

[002] Os métodos mais comumente propostos para análises de crescimento de organismos aquáticos cultivados ou provenientes da pesca são: von Bertalanffy, Logístico sigmoidal, Gompertz, Brody, Schnute, Quadrático e linearizações de von Bertalanffy (Ford-Walford e Gulland-Holt). Tais metodologias fornecem dados para planejamento, manejo e gerenciamento de cultivos de peixes e crustáceos, bem como de estoques pesqueiros. Além disso, têm como características principais estimar parâmetros (como comprimentos e pesos máximos atingidos pelos espécimes dos estoques cultivados ou selvagens a serem manejados/estudados) capazes de fornecer indicações aproximadas do desempenho de crescimento dos espécimes em avaliação (Burnham and Anderson, 2004; Carmo et al., 2008; Katsanevakis e Maravelias, 2008; Quist et al., 2012; Ballagh et al., 2011; Ansah e Frimpong, 2015; Aragón-Noriega et al., 2015). Na prática, permitem controlar alterações no manejo da aquicultura visando melhorar o desempenho produtivo e o desempenho de estoques pesqueiros.

Métodos mais utilizados em análise de crescimento

[003] A metodologia de avaliação do crescimento individual de von Bertalanffy demonstrou estar em conformidade com o crescimento observado na maioria das espécies de peixes. O modelo de von Bertalanffy de comprimento corporal (ou peso corporal) em função da idade tornou-se um dos pilares da biologia da aquicultura e pesca, porque é usado como submodelo para avaliações mais complexas que descrevem a dinâmica das populações de peixes em ambientes naturais e a alocação de energia pelas espécies (Ohnishi et al., 2012). O método de von Bertalanffy expressa o comprimento L , em função da idade do peixe, t :

$L(t) = L_{\infty}(1 - e^{-k(t-t_0)})$ ou $W(t) = W_{\infty}(1 - e^{-k(t-t_0)})$, onde $L(t)$ ou $W(t)$ = comprimento (ou peso) do peixe ou camarão no tempo t ; L_{∞} = comprimento assintótico (comprimento máximo dos espécimes) ou W_{∞} = peso assintótico (peso máximo dos espécimes); e = número exponencial (2,7183); k = parâmetro de curvatura (diretamente proporcional ao tempo para atingir o comprimento ou peso máximo); t_0 = parâmetro de condição inicial (tempo na eclosão dos ovos).

[004] O método de von Bertalanffy é constituído por um modelo hiperbólico, o que implica em incrementos crescentes, no comprimento (ou peso) dos animais, na fase inicial, e decrescentes ao longo do tempo até valores assintóticos estabilizados e representados graficamente como um platô (FAO, 1998). Diferentes curvas de crescimento serão criadas para cada conjunto dos três parâmetros (L_{∞} ou W_{∞} , k e t_0). É possível usar o mesmo modelo básico para descrever o crescimento de espécies diferentes, simplesmente usando um conjunto especial de parâmetros para cada cultivo ou cada espécie. Para análises prospectivas, o modelo necessita de valores iniciais dos três parâmetros (L_{∞} ou W_{∞} , k e t_0), obtidos através das linearizações de von Bertalanffy: Ford-Walford (L versus $L+1$ ou W versus $W+1$) e Gulland-Holt (L versus $\Delta L/\Delta t$ ou W versus $\Delta W/\Delta t$).

[005] Os demais métodos de avaliação do crescimento são menos utilizados que o de von Bertalanffy, todavia também são capazes de projetar o crescimento de um cultivo ou de um estoque pesqueiro, bem como estimar o tempo para que um dado cultivo atinja o tamanho de comercialização ou o tempo para que um dado estoque pesqueiro atinja o equilíbrio populacional evitando sobrepesca. Serão descritos a seguir:

[006] O modelo Logístico sigmoidal é comumente utilizado para descrever crescimento individual e crescimento de espécimes no estágio larval ou juvenil. Seu formato em “S” indica a presença de um ponto de inflexão. As partes anteriores e posteriores a esse ponto são idênticas, ao contrário de outros modelos sigmoidais (Quist et al., 2012):

$L(t) = L_{\infty}/(1 + e^{-k(t-t_c)})$ ou $W(t) = W_{\infty}/(1 + e^{-k(t-t_c)})$, onde $L(t)$ ou $W(t)$ = comprimento (ou peso) do peixe ou camarão no tempo t ; L_{∞} ou W_{∞} = comprimento ou peso assintótico (comprimento ou peso máximo dos espécimes); e = número exponencial (2,7183); k = parâmetro de curvatura (diretamente proporcional ao tempo para atingir o comprimento ou peso máximo); t_c = ponto de central e de inflexão da curva.

[007] O método de Gompertz também é constituído por um modelo sigmoidal, utilizado amplamente para crescimento de larvas e juvenis. Todavia, as partes antes e após o ponto de inflexão não são semelhantes, característica útil para o estudo de espécies cujo desenvolvimento inicial apresenta baixas taxas de crescimento. O modelo é dado pela seguinte fórmula:

$L(t) = L_{\infty} e^{-e^{-k(t-t_c)}}$ ou $W(t) = W_{\infty} e^{-e^{-k(t-t_c)}}$, onde $L(t)$ ou $W(t)$ = comprimento ou peso do peixe ou camarão no tempo t ; L_{∞} ou W_{∞} = comprimento ou peso assintótico (comprimento ou peso máximo dos espécimes); e = número exponencial (2,7183); k = taxa de crescimento instantânea ao tempo t ; t_c = ponto de inflexão da curva e idade a partir da qual o crescimento absoluto do espécime começa a diminuir (Quist et al., 2012).

[008] O método de Brody é constituído por um modelo sigmoidal derivado do modelo de Richards, cujo ponto de inflexão é flexível:

$L(t) = L_{\infty} (1 - Be^{-kt})$ ou $W(t) = W_{\infty} (1 - Be^{-kt})$, onde $L(t)$ ou $W(t)$ = comprimento ou peso do peixe ou camarão no tempo t ; L_{∞} ou W_{∞} = comprimento ou peso assintótico (comprimento ou peso máximo dos espécimes); B = constante de integração relacionada ao comprimento ou peso inicial; e = número exponencial (2,7183); k = constante de crescimento ou maturação; t_0 = tempo inicial (Araújo et al., 2012; Unal et al., 2018).

[009] A curva de Schnute é uma curva sigmoidal com parâmetros livres, cada um contribuindo para as características da curva: um atraso inicial ou período de

crescimento lento; um período de rápido crescimento exponencial; um período de taxa de crescimento reduzida. O modelo inclui a aceleração de crescimento além do crescimento assintótico e ponto de inflexão. A função de Schnute apresenta submodelos para diversas situações de crescimento e tem aplicações em muitos campos científicos, incluindo dinâmica populacional, crescimento bacteriano, ecologia populacional, biologia vegetal, química e estatística (Kyurkchiev et al., 2016). O modelo de Schnute é dado por:

$L(t) = L_{\infty}/(1 + B_2e^{-(kB_1-x_1)^{1/B_2}})$ ou $W(t) = W_{\infty}/(1 + B_2e^{-(kB_1-x_1)^{1/B_2}})$, onde $L(t)$ ou $W(t)$ = comprimento ou peso do peixe ou camarão no tempo t ; L_{∞} ou W_{∞} = comprimento ou peso assintótico (comprimento ou peso máximo dos espécimes); B_1 = constante de integração relacionada ao comprimento ou peso inicial; e = número exponencial (2,7183); k = constante de crescimento ou maturação; B_2 = ponto de inflexão (Schnute, 1981; Aragón-Noriega et al., 2015).

[0010] O método polinomial quadrático é caracterizado pela diminuição do crescimento com o tempo devido à diminuição da taxa metabólica, mesmo que o comprimento ou peso continue a aumentar. Essa escolha de modelo pode ser um bom ajuste em algumas situações, porque é flexível, podendo ser reduzido a uma função linear e pode ser ajustada facilmente aos dados observados. O crescimento quadrático é especificado como:

$L(t) = a + bt + ct^2$ ou $W(t) = a + bt + ct^2$, onde $L(t)$ ou $W(t)$ = comprimento ou peso do peixe ou camarão no tempo t ; a = intercepto; b = declividade linear; c = declividade quadrática (Ansah e Frimpong, 2015).

Problemas técnicos não resolvidos pelos métodos atuais e proposta de resolução.

[0011] Todavia, os métodos atuais não fornecem inferências quanto aos efeitos de insumos utilizados nos cultivos (como rações e seus componentes) sobre características do crescimento dos espécimes. Sendo assim, a presente contribuição propõe o uso do método hiperbólico de Michaelis-Menten (normalmente utilizado em bioquímica e farmacologia) na avaliação do crescimento de peixes e crustáceos. Este modelo infere -- através de suas linearizações: Lineweaver-Burk (1/comprimento ou 1/peso *versus* 1/tempo); Dixon (1/comprimento ou 1/peso *versus* fator negativo

quantificável), Eadie-Hofstee (comprimento *versus* comprimento/insumo ou peso *versus* peso/insumo), Hanes-Woolf (insumo/comprimento *versus* insumo ou insumo/peso *versus* insumo) e Cornish-Bowden (insumo/comprimento *versus* fator negativo quantificável ou insumo/peso *versus* fator negativo quantificável) -- detalhes do desempenho de insumos no crescimento com a finalidade de atingir configurações ótimas de cultivo. O modelo de Michaelis-Menten aqui descrito como FCMM (Função de Crescimento de Michaelis-Menten):

$L(t) = (L_{\infty} \times t)/(k_m + t)$ ou $W(t) = (W_{\infty} \times t)/(k_m + t)$, onde $L(t)$ ou $W(t)$ = comprimento ou peso do peixe ou camarão no tempo t ; L_{∞} ou W_{∞} = comprimento ou peso assintótico (comprimento ou peso máximo dos espécimes); k_m = constante de afinidade (inversamente proporcional ao tempo para atingir o comprimento ou peso máximo).

[0012] O método sigmoidal de Hill (também utilizado em bioquímica e farmacologia) possui parâmetros similares aos de Michaelis-Menten podendo fornecer inferências equivalentes através de linearizações. A função de Hill aqui descrita como FCH (Função de Crescimento de Hill):

$L(t) = L_{\infty} \times [t^n/(k^n + t^n)]$ ou $W(t) = W_{\infty} \times [t^n/(k^n + t^n)]$, onde $L(t)$ ou $W(t)$ = comprimento ou peso do peixe ou camarão no tempo t ; L_{∞} ou W_{∞} = comprimento ou peso assintótico (comprimento ou peso máximo dos espécimes); k = constante de afinidade (inversamente proporcional ao tempo para atingir o comprimento ou peso máximo); n = número de interações com o insumo.

[0013] Nas análises prospectivas, os métodos necessitam de valores iniciais dos três parâmetros (L_{∞} ou W_{∞} , k e t_0), os quais são obtidos através das linearizações de von Bertalanffy (comumente): Ford-Walford (L *versus* $L+1$ ou W *versus* $W+1$) e Gulland-Holt (L *versus* $\Delta L/\Delta t$ ou W *versus* $\Delta W/\Delta t$) com dados iniciais dos cultivos. Todavia, o modelo linear de Ford-Walford tende a superestimar os valores durante o ajuste da curva enquanto o modelo de Gulland-Holt tende a subestimar os valores. Assim, propõe-se a função média entre Ford-Walford e Gulland-Holt aqui descrita como Função FG.

- Ansah, Y.B., Frimpong, E.A., 2015. Using model-based inference to select a predictive growth curve for farmed tilapia. *North American Journal of Aquaculture*, 77:3, 281-288, DOI: 10.1080/15222055.2015.1020080.
- Aragón-Noriega, E.A., Alcántara-Razo, E., Valenzuela-Quiñónez, W., Rodríguez-Quiroz, G. Multi-model inference for growth parameter estimation of the Bigeye Croaker *Micropogonias megalops* in the upper Gulf of California. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 50, 25-38, 2015. DOI 10.4067/S0718-19572015000100003
- Araújo, R.O., Marcondes, C.R., Damé, M.C.F., Garnero, A.V., Gunski, R.J., Everling, D.M., Rorato, P.R.N. Classical nonlinear models to describe the growth curve for Murrah buffalo breed. *Ciência Rural*, 42, 520-525, 2012.
- Ballagh, A.C., Welch, D., Williams, A.J., Mapleston, A., Tobin, A., Marton, N., 2011. Integrating methods for determining length-at-age to improve growth estimates for two large scombrids. *Fish. Bull.* 109, 90–100.
- Burnham, K.P., Anderson, D.R., 2004. Multimodel inference: understanding AIC and BIC in model selection. *Sociological Methods Res.* 33, 261–304. <https://doi.org/10.1177/0049124104268644>.
- Carmo, J.L., Ferreira, D.A., Silva Jr., R.F., Santos, R.M.S., Correia, E.S., 2008. Crescimento de três linhagens de tilápia sob cultivo semi-intensivo em viveiros. *Caatinga*, 21, 20–26.
- FAO, 1998. Introduction to Tropical Fish Stock Assessment Part I: Manual. FAO Fisheries Technical Paper, 306. (Rome, Italy).
- Katsanevakis, S., Maravelias, K.D., 2008. Modelling fish growth: multi-model inference as a better alternative to a priori using von Bertalanffy equation. *Fish and Fisheries*, 9, 178–187.
- Kyurkchiev, N., Markov, S., Iliev, A., 2016. A Note on the Schnute Growth Model. A note on the Schnute growth model. *International Journal of Engineering Research and Development*, 12, 47-54.
- Ohnishi, S., Yamakawa, T., Okamura, H., Akamine, T., 2012. A note on the von Bertalanffy growth function concerning the allocation of surplus energy to reproduction. *Fish. Bull.* 110, 223–229.

Quist, M. C., M. A. Pegg, and D. R. DeVries. Age and Growth, pp. 677–731. In: Fisheries Techniques (Zale, A., D. Parrish, and T. Sutton, Eds.), 3rd Edn. Bethesda, MD: American Fisheries Society. (2012).

Schnute, J., 1981. A versatile growth model with statistically stable parameters. Can. J. Aquat. Sci. 38: 1128-1140.

Breve descrição dos desenhos

Figura 1 - esquematiza a proposição de modelos utilizados normalmente em enzimologia/farmacologia para aplicações em aquicultura, bem como a utilização de uma função média entre os modelos de Ford-Walford e Gulland-Holt para obtenção de valores iniciais para os parâmetros de crescimento. Tais aplicações (e função média) serão utilizados em aplicativos de monitoramento de cultivos em aquicultura.

Figura 2 - Tabela 1 – Comparação entre os ajustes de métodos de avaliação de crescimento para dados de comprimento total de tilápia do Nilo *O. niloticus* utilizando o Critério de Informação de Akaike corrigido (AICc), Diferença de Akaike (Δ_{AICc}) e índice de crescimento para comprimento ($\emptyset$).

Figura 3 - Tabela 2 – Comparação entre os ajustes de métodos de crescimento para dados de comprimento padrão de tilápia do Nilo *O. niloticus* utilizando o Critério de Informação de Akaike corrigido (AICc), Diferença de Akaike (Δ_{AICc}) e índice de crescimento para comprimento ($\emptyset$).

Figura 4 - Tabela 3 – Comparação entre os ajustes de métodos de crescimento para dados de peso de tilápia do Nilo *O. niloticus* utilizando o Critério de Informação de Akaike corrigido (AICc), Diferença de Akaike (Δ_{AICc}) e índice de crescimento para peso (P).

Figura 5 - Tabela 4 – Razão de Peso de Akaike (W_{AICr}) entre os métodos ajustados para os dados de comprimento total (A), comprimento padrão (B) e peso (C) de tilápia do Nilo *O. niloticus* nos sistemas de cultivo intensivo e semi-intensivo.

Figura 6 - Comparação entre gráficos de Von Bertalanffy de cultivos de tilapia do Nilo (*O. niloticus*) nos sistemas intensivo (esquerda) e semi-intensivo (direita) com dados de comprimento total e parâmetros (L_{∞} , k e t_0) obtidos das linearizações: Ford-Walford (primeira linha); Gulland-Holt (segunda linha) e média entre Ford-Walford and Gulland-Holt (função FG, terceira linha).

Figura 7 - Comparação entre gráficos de Von Bertalanffy de cultivos de tilapia do Nilo (*O. niloticus*) nos sistemas intensivo (esquerda) e semi-intensivo (direita) com dados de comprimento padrão e parâmetros (L_{∞} , k e t_0) obtidos das linearizações: Ford-Walford (primeira linha); Gulland-Holt (segunda linha) e média entre Ford-Walford and Gulland-Holt (função FG, terceira linha).

Descrição da invenção

[0014] Os novos usos propostos para o modelo hiperbólico de Michaelis-Menten (e parâmetros de suas linearizações: Lineweaver-Burk, Dixon, Eadie-Hofstee, Hanes-Woolf e Cornish-Bowden) consistem na conversão do significado de seus parâmetros para a área de avaliação de crescimento de peixes e crustáceos. Inicialmente a função de Michaelis-Menten, na área de enzimologia (na quantificação das reações catalisadas por enzimas), era representada por:

$V(t) = (V_{max} \times t)/(k_m + t)$, onde $V(t)$ = Velocidade instantânea da reação catalisada (atividade enzimática) no tempo t ; V_{max} = Velocidade máxima assintótica da reação catalisada (quando todos os sítios ativos da enzima estão ocupados pelo substrato); k_m = constante de afinidade da enzima pelo substrato utilizado na reação (concentração de substrato, no eixo X, que equivale à metade da V_{max} , no eixo Y; Inversamente proporcional à afinidade da enzima pelo substrato). Através da curva de

Michaelis-Menten é possível determinar parâmetros de cinética enzimática como número de renovação (k_{cat} – moléculas de substrato processadas por unidade de tempo; $k_{cat} = V_{max}/E_t$; E_t = quantidade total de enzima) e eficiência catalítica (k_{cat}/k_m - moléculas de substrato processadas por unidade de tempo em relação à afinidade da enzima pelo substrato).

[0015] Nas linearizações de Michaelis-Menten: Lineweaver-Burk ($1/\text{velocidade}$ *versus* $1/[\text{substrato}]$), Eadie-Hofstee (velocidade *versus* $\text{velocidade}/[\text{substrato}]$), Hanes-Woolf ($[\text{substrato}]/\text{velocidade}$ *versus* $[\text{substrato}]$), Dixon ($1/\text{velocidade}$ *versus* $[\text{inibidor}]$) e Cornish-Bowden ($[\text{substrato}]/\text{velocidade}$ *versus* $[\text{inibidor}]$) pode-se determinar parâmetros de cinética de inibição como k_i (constante de dissociação do complexo enzima-inibidor – inibidores competitivos, não-competitivos e mistos), k_i' (constante de dissociação do complexo enzima-substrato-inibidor – inibidores não-competitivos, incompetitivo e mistos), k_{mapp} (constante de afinidade da enzima pelo substrato na presença de um inibidor), V_{mapp} (Velocidade máxima assintótica da reação catalisada na presença de um inibidor).

[0016] Sendo assim, convertendo o significado de cada parâmetro, da área de enzimologia para aquicultura (considerando velocidade como comprimento/peso; concentração de substrato como tempo e quantidade de enzimas como n° peixes/camarões), temos:

$L(t) = (L_{\infty} \times t)/(k_m + t)$ ou $W(t) = (W_{\infty} \times t)/(k_m + t)$, onde $L(t)$ ou $W(t)$ = comprimento ou peso do peixe ou camarão no tempo t ; L_{∞} ou W_{∞} = comprimento ou peso total assintótico (comprimento ou peso máximo dos espécimes); k_m = constante de afinidade (tempo, no eixo X, que equivale à metade do L_{∞} , no eixo Y. inversamente proporcional ao tempo para atingir o comprimento ou peso máximo). Através da curva de Michaelis-Menten e das linearizações Lineweaver-Burk ($1/L$ *versus* $1/t$ ou $1/W$ *versus* $1/t$), Eadie-Hofstee (L *versus* L/t ou W *versus* W/t), Hanes-Woolf (t/L *versus* t ou t/W *versus* t), é possível estimar, além do L_{∞} ou W_{∞} (e $L_{\infty app}$ ou $W_{\infty app}$) e do k_m (e k_{mapp}), os parâmetros k_{cat} e k_{cat}/k_m . O k_{cat} ($= L_{\infty}$ ou W_{∞}/n° peixes/camarões), como parâmetro da análise de crescimento, constitui uma constante de desempenho específico (a partir de agora, identificada como k_{de}) que indica a performance

individual (expresso em cm/indivíduo ou g/indivíduo) de um cultivo, subsidiando decisões acerca do manejo populacional; Enquanto isso, o k_{cat}/km , em termos de análise de crescimento, descreve o desempenho individual em função do tempo (de agora em diante, k_{de}/t , expresso em cm/ind.dia ou g/ind.dia).

[0017] Os parâmetros k_i e k_i' são obtidos das linearizações Dixon ($1/L$ versus fator negativo quantificável ou $1/W$ versus fator negativo quantificável) e Cornish-Bowden (t/L versus fatores negativos quantificáveis ou t/W versus fatores negativos quantificáveis). Em terminologia de aquicultura, o parâmetro k_i (a partir de agora, identificado como k_{fn}) representa uma constante inversamente proporcional à força da interação entre os animais cultivados e um dado fator negativo quantificável (fatores antinutricionais das leguminosas e tipos de ingredientes em dietas, por exemplo), enquanto k_i' (a partir de agora, identificado como k_{fn}') representa uma constante inversamente proporcional à força da interação entre os animais cultivados e mais de um fator negativo quantificável agindo conjuntamente (concentração de amônia + pH, por exemplo).

[0018] A função sigmoidal de Hill, assim como a de Michaelis-Menten, é utilizada em bioquímica e farmacologia, sendo também proposta aqui como uma opção de ferramenta para análise de crescimento que pode se ajustar melhor aos dados experimentais, para uma dada situação. Originalmente a função é dada por:

$V(t) = V_{max} [t^n / (k^n + t^n)]$, onde $V(t)$ = velocidade no tempo t ; V_{max} = velocidade máxima assintótica; k = constante de afinidade (concentração de substrato, no eixo X, que equivale à metade do V_{max} , no eixo Y; Inversamente proporcional à afinidade da enzima pelo substrato; Ponto de inflexão da curva e concentração de substrato capaz de ocupar metade dos sítios cooperativos); n = coeficiente de Hill, representando sítios de ligação cooperativos.

[0019] Em termos de aquicultura, temos: $L(t) = L_{\infty} [t^n / (k^n + t^n)]$ ou $W(t) = W_{\infty} [t^n / (k^n + t^n)]$, onde $L(t)$ ou $W(t)$ = comprimento ou peso no tempo t ; L_{∞} ou W_{∞} = comprimento ou peso máximos assintóticos; k = constante de afinidade (tempo, no eixo X, que equivale à metade do L_{∞} ou W_{∞} no ponto de inflexão da curva); n = coeficiente de Hill (a partir de agora, identificado como n_{fp}), representando sítios de interação com insumos ou

fatores positivos do cultivo (ex: interação entre alimentos/ingredientes das dietas).

[0020] Outra ferramenta de auxílio à análise de crescimento de peixes e crustáceos proposta aqui é a função média entre os modelos (linearizados de von Bertalanffy) de Ford-Walford (L versus $L+1$ ou W versus $W+1$) e Gulland-Holt (L versus $\Delta L/\Delta t$ ou W versus $\Delta W/\Delta t$) com dados iniciais dos cultivos. O modelo linear de Ford-Walford tende a superestimar os valores dos parâmetros L_∞ ou W_∞ , k e t_0 durante o ajuste da curva (ao se reverter a linearização) enquanto o modelo de Gulland-Holt tende a subestimar os valores. Dessa forma, a presente contribuição propõe uma função média entre as funções de Ford-Walford e Gulland-Holt (a partir de agora, denominada função FG) visando um melhor ajuste dos dados experimentais.

Exemplos de concretizações da invenção

[0021] Cultivos de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) foram realizados em condições ótimas, nas instalações na Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), situada no município de Serra Talhada - PE, região semi-árida do estado de Pernambuco, Brasil. Tilápias do Nilo juvenis (machos revertidos) foram obtidas de uma cultura comercial da cidade de Paulo Afonso - BA. Os peixes foram estocados em tanques de concreto (40 peixes.m^{-2}) e em seguida, submetidos a um período de aclimação de 15 dias.

[0022] O experimento consistiu em dois tratamentos (cultivos intensivo e semi-intensivo) com três repetições, cada. No tratamento intensivo, os peixes ($16,3 \pm 0,12 \text{ cm}$) foram cultivados em tanques-rede, enquanto no semi-intensivo foram cultivados em viveiros. Ambos os cultivos duraram 94 dias. Dez por cento da população foi amostrada mensalmente para monitorar o crescimento, saúde e fazer ajustes de alimentação. Para o cultivo intensivo, as dimensões dos tanques-redes eram $2\text{m} \times 2\text{m} \times 1,5\text{m}$, capacidade de 5 m^3 . Os animais foram estocados a uma densidade de $110 \text{ peixes.m}^{-3}$ (três repetições). Para o cultivo semi-intensivo foram utilizados três viveiros com área de 338 m^2 e profundidade máxima de $1,5 \text{ m}$. Os animais foram estocados a uma

densidade de 0,67 peixes m⁻³.

[0023] Dietas comerciais foram utilizadas para ambos os sistemas. A cultura intensiva utilizou 35 e 32% de proteína bruta (PB), enquanto a cultura semi-intensiva utilizou 35, 32 e 28% de PB. Os peixes foram alimentados duas vezes ao dia (8h e 15h) com taxas de alimentação de 5, 4 e 3% da biomassa, ajustado mensalmente após biometria.

[0024] Após os cultivos, os dados mensais de biometria (comprimento total, comprimento padrão e peso) foram reunidos para a avaliação de crescimento e comparação entre os ajustes dos métodos propostos, utilizando o critério de informação de Akaike corrigido (AICc), diferença entre AICc ($\Delta AICc$) e razão de peso de Akaike (WAICr) como ferramentas de comparação entre os ajustes. Tais comparações fundamentaram a proposição de utilizar métodos idealizados para enzimologia e farmacologia na aquicultura.

[0025] Foi comparado o desempenho dos seguintes métodos no ajuste dos dados de crescimento: Von Bertalanffy, Michaelis-Menten, Hill, Gompertz e Logístico. Com base no AICc e $\Delta AICc$ apresentados, foi possível classificar esses métodos de acordo com seu ajuste aos dados observados ($\Delta AICc$ é a diferença entre o menor valor de AICc e cada um dos demais métodos. Um valor de $\Delta AICc$ acima de 2 é considerado significativamente diferente) (Figuras 2-4 = Tabelas 1-3). Utilizando-se o software Microcal Origin 8.0 obteve-se, para dados de comprimento total por idade, a seguinte ordem de desempenho de ajuste: **Michaelis-Menten** > **Hill** > Von Bertalanffy ~ Logístico > Gompertz (intensivo) e Von Bertalanffy $\geq$ **Hill** $\geq$ **Michaelis-Menten** $\geq$ Gompertz > Logístico (semi-intensivo). Para dados de comprimento padrão por idade, os métodos foram ordenados nessa sequência: **Michaelis-Menten** > **Hill** $\geq$ Von Bertalanffy $\geq$ Gompertz > Logístico (intensivo) e **Michaelis-Menten** > Von Bertalanffy > **Hill** > Logístico > Gompertz (semi-intensivo). Os conjuntos de dados de peso por idade mostraram **Hill** > Von Bertalanffy > Gompertz > **Michaelis-Menten** (intensivo) e Gompertz > Logístico > Von Bertalanffy > **Hill** > **Michaelis-Menten** (semi-intensivo). Em quase todas as situações apresentadas, o uso proposto na aquicultura dos métodos de Hill e Michaelis-Menten mostrou-se mais apropriado do que os métodos já

utilizados comumente para monitoramento e/ou análise prospectiva do crescimento de cultivos aquícolas. Apenas nos dados de peso por idade no cultivo semi-intensivo, Hill e Michaelis-Menten não estiveram entre os de melhor ajuste, o que não impossibilita sua aplicação em dados de outros cultivos e espécies nos quais possam apresentar desempenho melhor.

[0026] A relação de peso de Akaike (WAICr) é mostrada na Figura 5 (Tabela 4). Trata-se da razão entre o maior WAIC e o menor WAIC de cada comparação entre os métodos. Esta relação descreve quantas vezes um método é provavelmente mais correto do que outro (quanto maior o valor da razão, maior a diferença de ajuste entre o método do numerador e o do denominador). Na Figura 5 (Tabela 4), os valores abaixo da diagonal são relacionados ao sistema intensivo e a proporção resulta de numeradores que são o peso de Akaike (WAIC) dos métodos nomeados em linha e denominadores são os valores WAIC de métodos nomeados na coluna. Os valores relacionados ao sistema semi-intensivo são apresentados acima da diagonal, e numeradores e denominadores são o inverso do intensivo. Esta análise não só corrobora os resultados do $\Delta AICc$, mas também vai além ao mostrar que alguns métodos se encaixam muito mais do que outros.

[0027] Outra inovação indicada na presente proposição é a utilização de parâmetros de crescimento de von Bertalanffy (L_{∞} , k e t_0) obtidos da função média entre os métodos de Ford-Walford e Gulland-Holt (função FG), para um melhor ajuste dos dados de crescimento. Como apresentado nas figuras 6 e 7 (para os mesmos cultivos intensivo e semi-intensivo descritos no início dessa seção de concretizações), o método de Ford-Walford tende a superestimar os parâmetros enquanto o método de Gulland-Holt tende a subestimá-los. Sendo assim, observou-se que as estimativas de tais parâmetros para todos os conjuntos de dados de comprimento total e padrão por idade foram melhor determinadas pela função FG.

REIVINDICAÇÕES

1. MÉTODOS DE MODELAGENS PARA ESTIMATIVAS, PROGNÓSTICOS E ANÁLISES DE CRESCIMENTO DE PEIXES E CRUSTÁCEOS EM AQUICULTURA, **caracterizada por** utilizar métodos de Michaelis-Menten (e suas linearizações: Lineweaver-Burk, Dixon, Eadie-Hofstee, Hanes-Woolf e Cornish-Bowden), função de Hill e função média entre Ford-Walford e Gulland-Holt (função FG), em cultivos aquícolas utilizando dados de peso e comprimento.
2. MÉTODOS DE MODELAGENS PARA ESTIMATIVAS, PROGNÓSTICOS E ANÁLISES DE CRESCIMENTO DE PEIXES E CRUSTÁCEOS EM AQUICULTURA, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizada por** utilizar o método de Michaelis-Menten (e suas linearizações: Lineweaver-Burk, Dixon, Eadie-Hofstee, Hanes-Woolf e Cornish-Bowden) para determinação dos parâmetros: 1) **kde** - parâmetro da análise de crescimento, como uma constante de desempenho específico que indica a performance individual do peixe ou crustáceo de um cultivo; 2) **kde/t** – parâmetro que descreve o desempenho individual do peixe ou crustáceo de um cultivo, em função do tempo; 3) **kfn** - parâmetro inversamente proporcional à força da interação entre os animais cultivados e um dado fator negativo quantificável; 4) **kfn'** - parâmetro inversamente proporcional à força da interação entre os animais cultivados e mais de um fator negativo quantificável, agindo conjuntamente.
3. MÉTODOS DE MODELAGENS PARA ESTIMATIVAS, PROGNÓSTICOS E ANÁLISES DE CRESCIMENTO DE PEIXES E CRUSTÁCEOS EM AQUICULTURA, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizada por** utilizar o método de Hill para obtenção do parâmetro **nfp**, o qual representa sítios de interação com insumos ou fatores positivos do cultivo de peixes ou crustáceos.
4. MÉTODOS DE MODELAGENS PARA ESTIMATIVAS, PROGNÓSTICOS E ANÁLISES DE CRESCIMENTO DE PEIXES E CRUSTÁCEOS EM AQUICULTURA, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizada por** utilizar uma função intermediária

entre Ford-Walford e Gulland-Holt (função FG) para obtenção de valores iniciais para curva de Von Bertalanffy em cultivos de peixes e crustáceos.

5. MÉTODOS DE MODELAGENS PARA ESTIMATIVAS, PROGNÓSTICOS E ANÁLISES DE CRESCIMENTO DE PEIXES E CRUSTÁCEOS EM AQUICULTURA, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizada por** utilizar os parâmetros **kde**, **kde/t**, **kfn**, **kfn'**, **nfp** e **função FG** em registro de programa de computador.

DESENHOS

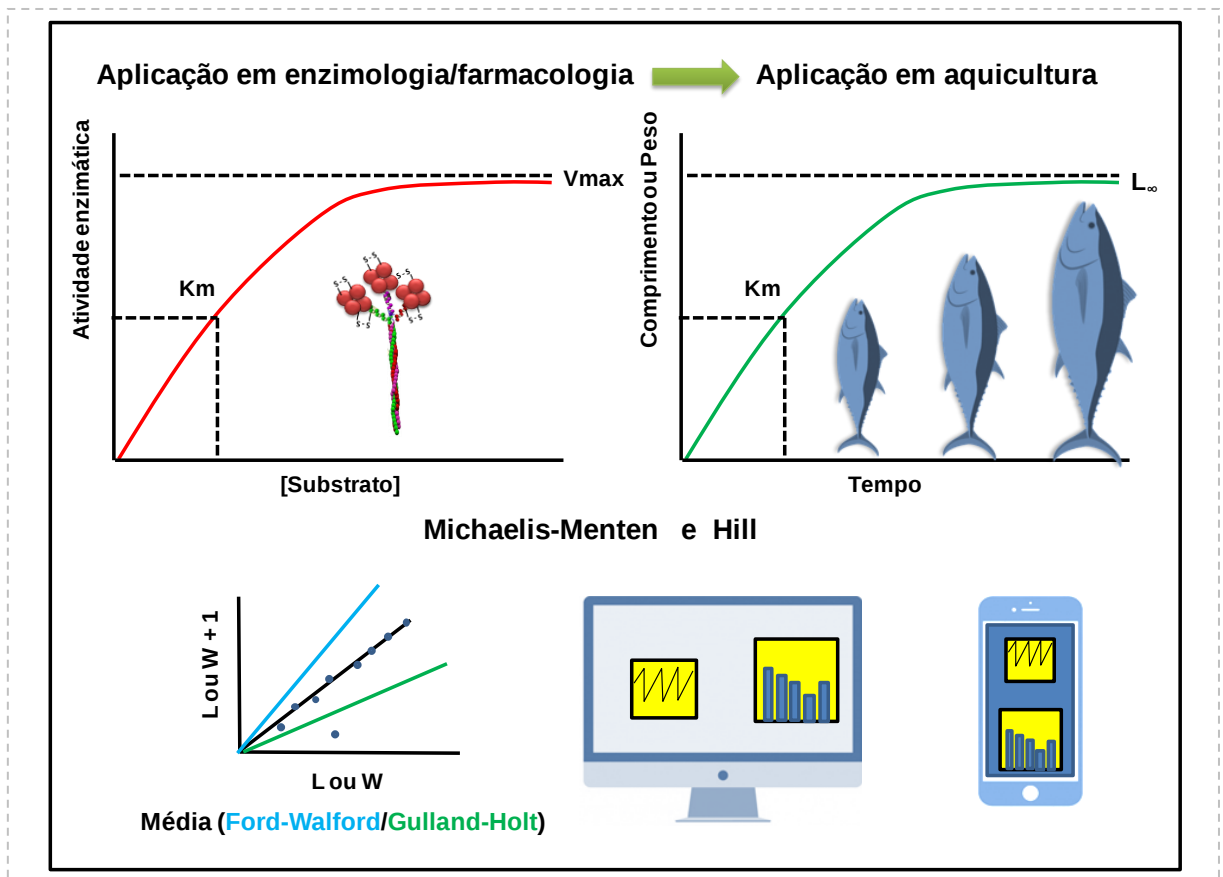


Figura 1

Intensivo	Comprimento total/idade				
	Von Bertalanffy	Gompertz	Michaelis Menten	Logístico	Hill
AICc	585,29	574,52	562,65	566,49	564,22
Δ_{AICc}	2,64	11,87	0,00	3,84	1,57
σ	2,60	2,75	2,81	2,82	2,81
Semi-Intensivo	Comprimento total/idade				
	Von Bertalanffy	Gompertz	Michaelis Menten	Logístico	Hill
AICc	193,16	195,17	194,18	205,35	193,67
Δ_{AICc}	0,00	2,01	1,02	12,19	0,51
σ	2,60	2,75	2,80	2,79	2,80

Figura 2 – Tabela 1

Intensivo	Comprimento padrão/idade				
	Von Bertalanffy	Gompertz	Michaelis Menten	Logístico	Hill
AICc	460,67	461,45	457,47	470,07	459,42
Δ_{AICc}	3,20	3,98	0,00	12,60	1,95
ϕ	2,45	2,60	2,67	2,67	2,67
Semi-Intensivo	Von Bertalanffy	Gompertz	Michaelis Menten	Logístico	Hill
AICc	81,91	96,41	79,48	83,48	82,28
Δ_{AICc}	2,43	16,93	0,00	4,00	2,80
ϕ	2,45	2,57	2,65	2,65	2,65

Figura 3 – Tabela 2

Intensivo	Peso/idade				
	Von Bertalanffy	Gompertz	Michaelis Menten	Logístico	Hill
AICc	3261,52	3277,91	3286,98	3255,78	3246,87
Δ_{AICc}	14,65	31,04	40,11	8,91	0,00
P	2,73	2,40	2,57	4,79	4,59
Semi-Intensivo	Von Bertalanffy	Gompertz	Michaelis Menten	Logístico	Hill
AICc	2459,74	2446,15	2472,76	2448,96	2468,10
Δ_{AICc}	13,59	0,00	26,61	2,81	21,95
P	2,29	2,13	2,45	2,22	3,94

Figura 4 – Tabela 3

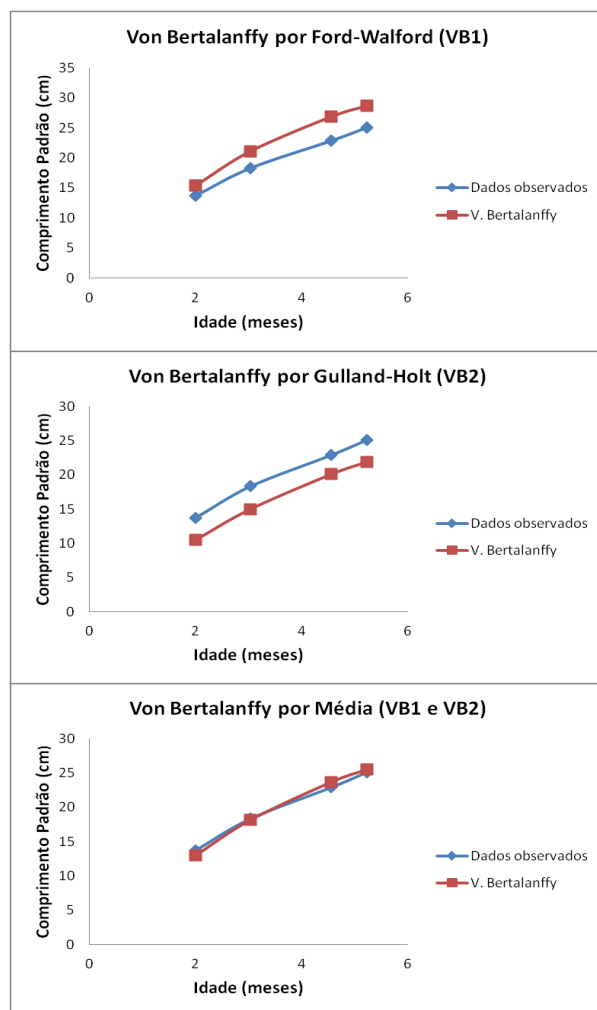
Comprimento total (A)						Comprimento padrão (B)					
Semi-intensivo						Intensivo					
	Michaelis Menten	Von Bertalanffy	Logístico	Gompertz	Hill		Michaelis Menten	Von Bertalanffy	Logístico	Gompertz	Hill
MM	1,00	1,66*	1,64	266,98	1,28	MM	1,00	3,36	7,35	4747,13	4,04***
VB	3,74	1,00	2,73	444,45	1,29*	VB	4,94	1,00	2,19	1412,94	1,20*
Logístico	6,82	1,82	1,00	162,66	2,11	Logístico	7,30	1,47	1,00	644,16	1,81
Gompertz	378,22	101,18	55,40	1,00	343,82	Gompertz	544,17	110,11	74,52	1,00	1174,08
Hill	2,18***	1,70	3,12	172,61	1,00	Hill	2,65***	1,86	2,75	205,18	1,00
Peso (C)						Intensivo					
Semi-intensivo						Intensivo					
	Von Bertalanffy	Gompertz	Logístico	Michaelis Menten	Hill		Von Bertalanffy	Gompertz	Logístico	Michaelis Menten	Hill
VB	1,00	891,85**	218,29	674,67*	1,5x10 ² *	VB	1,00	891,85**	218,29	674,67*	1,5x10 ² *
Gompertz	3634,89	1,00	4,08	6,0x10 ² **	5,8x10 ⁴ **	Gompertz	3634,89	1,00	4,08	6,0x10 ² **	5,8x10 ⁴ **
Logístico	-	-	-	1,4x10 ² ****	1,4x10 ² ****	Logístico	-	-	-	1,4x10 ² ****	1,4x10 ² ****
MM	3,3x10 ⁴	93,07	-	1,00	10,26	MM	3,3x10 ⁴	93,07	-	1,00	10,26
Hill	1,5x10 ³	5,5x10 ⁴	85,88	5,1x10 ³	1,00	Hill	1,5x10 ³	5,5x10 ⁴	85,88	5,1x10 ³	1,00

Figura 5 – Tabela 4



Figura 6

Intensivo



Semi-Intensivo

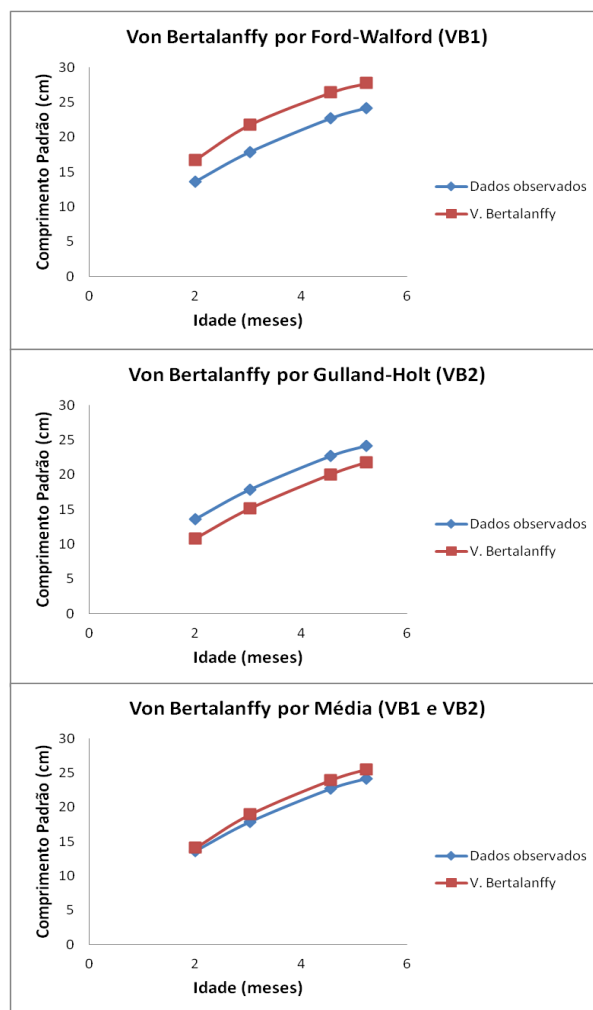


Figura 7

RESUMO**MÉTODOS DE MODELAGENS PARA ESTIMATIVAS, PROGNÓSTICOS E ANÁLISES DE CRESCIMENTO DE PEIXES E CRUSTÁCEOS EM AQUICULTURA**

A presente proposta refere-se à aplicação de métodos das áreas de bioquímica e farmacologia na avaliação de crescimento em piscicultura e carcinicultura, caracterizada por utilizar os métodos de Michaelis-Menten (e suas linearizações: Lineweaver-Burk, Dixon, Eadie-Hofstee, Hanes-Woolf e Cornish-Bowden), função de Hill e função média entre Ford-Walford e Gulland-Holt, utilizando dados de peso e comprimento. Tal utilização de Michaelis-Menten determina os parâmetros: k_{de} , constante de desempenho específico do peixe ou crustáceo de um cultivo; k_{de}/t , descreve tal desempenho específico, em função do tempo; k_{fn} e k_{fn}' , parâmetros inversamente proporcionais à interação entre os animais cultivados e um dado fator negativo ou mais de um fator negativo, respectivamente. A função de Hill, em aquicultura, permite a obtenção do parâmetro n_{fp} , que representa sítios de interação com fatores positivos do cultivo de peixes ou crustáceos. Visando também solucionar os problemas de superestimação (Ford-Walford) e subestimação (Gulland-Holt) dos parâmetros de Von Bertalanffy, foi proposta a utilização de uma função intermediária, aqui denominada função FG, que favorece a obtenção de valores iniciais mais ajustáveis à curva de Von Bertalanffy. Os métodos propostos de Hill, Michaelis-Menten e a função FG mostraram-se adequados para avaliação dos parâmetros para prognóstico e projeção de crescimento em piscicultura e carcinicultura.