



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
INSTITUTO FEDERAL GOIANO DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E EDUCAÇÃO GOIANO
CAMPUS MORRINHOS
GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**REGRESSÃO NÃO LINEAR EM CURVA DE CRESCIMENTO DE *COTURNIX*
*COTURNIX***

BÁRBARA COSTA MONTES

Orientador: Prof. Dr. Jeferson Corrêa Ribeiro

Morrinhos – GO

2023



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
INSTITUTO FEDERAL DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E EDUCAÇÃO GOIANO
CAMPUS MORRINHOS
GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

BÁRBARA COSTA MONTES

**REGRESSÃO NÃO LINEAR EM CURVA DE CRESCIMENTO DE *COTURNIX*
*COTURNIX***

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Zootecnia do Instituto Federal Goiano – Campus Morrinhos, como parte das exigências para obtenção do título de Bacharel em Zootecnia.

Orientador: Prof. Dr. Jeferson Corrêa Ribeiro

Morrinhos – GO

2023

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

MM779r Montes, Bárbara Costa
REGRESSÃO NÃO LINEAR EM CURVA DE CRESCIMENTO DE
COTURNIX COTURNIX / Bárbara Costa Montes;
orientador Jeferson Corrêa Ribeiro. -- Morrinhos,
2023.
24 p.

Tese (Doutorado em Bacharelado em Zootecnia) --
Instituto Federal Goiano, Campus Morrinhos, 2023.

1. Brody. 2. Gompertz. 3. Logístico. 4. Richards.
5. von Bertalanffy. I. Corrêa Ribeiro, Jeferson ,
orient. II. Título.

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

Tese (doutorado)

Dissertação (mestrado)

Monografia (especialização)

TCC (graduação)

Artigo científico

Capítulo de livro

Livro

Trabalho apresentado em evento

Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Matrícula:

Título do trabalho:

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: Não Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: / /

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Local / /
Data

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:

Assinatura do(a) orientador(a)

BÁRBARA COSTA MONTES

**REGRESSÃO NÃO LINEAR EM CURVA DE CRESCIMENTO DE *COTURNIX*
*COTURNIX***

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
em Zootecnia do Instituto Federal Goiano –
Campus Morrinhos, como parte das exigências
para obtenção do título de Bacharel em
Zootecnia.

Orientador: Prof. Dr. Jeferson Corrêa Ribeiro

Prof^a. Dra. Andréia Santos Cezário
(Membro da banca)

Prof. Dr. Wallacy Barbacena Rosa dos Santos
(Membro da banca)

Prof. Dr. Jeferson Corrêa Ribeiro
(Orientador)

DEDICATÓRIA

À minha mãe Divina e à minha avó Almemberg que amo tanto e nunca mediram esforços para me dar amor, carinho, dedicação, sabedoria e, principalmente, apoio em todos os meus sonhos.
Dedico!

AGRADECIMENTOS

Este trabalho é fruto de todo meu esforço e representa a etapa final da minha formação acadêmica, mas que só foi possível se concretizar com o apoio de algumas pessoas, as quais merecem meu sincero agradecimento.

Primeiramente, agradecer a Deus e Nossa Senhora Aparecida por toda sabedoria, discernimento, saúde e disposição durante toda a minha trajetória.

À minha mãe Divina e minha avó Almemberg, por sempre estarem rezando por mim, me apoiando, dando forças, aconselhando e me dando a base para que eu conseguisse concluir mais essa etapa na minha vida.

À toda a minha família, que compreenderam a minha ausência torcendo e me colocando em suas orações durante esses anos.

Ao Prof. Dr. Jeferson Corrêa Ribeiro, por ter aceito o convite para ser meu orientador nas minhas iniciações científicas e agora no trabalho de conclusão de curso, sempre me ajudando da melhor maneira

À Prof^ª. Dra. Andréia Santos Cezário e ao Prof. Dr. Wallacy Barbacena Rosa dos Santos por terem aceito meu convite para comporem a banca examinadora.

Aos meus amigos e colegas da graduação que fizeram parte de todo o meu processo de aprendizagem e sempre estavam à disposição em me ajudar.

Agradeço também a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste estudo e finalização deste trabalho.

“Confia ao Senhor as tuas obras, e teus planos terão bom êxito.”

Provérbios 16:3

RESUMO

MONTES, Bárbara Costa, Instituto Federal Goiano – Campus Morrinhos, dezembro de 2022. **Modelos de Regressão Não Linear em Estudos de Curva de Crescimento.** Orientador: Jeferson Corrêa Ribeiro.

O objetivo desse trabalho foi estudar os modelos de regressão não linear em estudos de curva de crescimento de animais. Modelos de regressão não linear têm se mostrado adequados para descrever as curvas de crescimento, pois apresentam parâmetros que podem ser interpretados biologicamente. Estes são caracterizados principalmente pelo peso à maturidade, que representa o peso na idade adulta, e pela velocidade de crescimento, ou taxa de maturidade, que representa uma medida de precocidade. Diferentes modelos não-lineares são apresentados na literatura para descrever curvas de crescimento animal, e cada um destes modelos apresenta suas vantagens e desvantagens. Foi utilizado um banco de dados de 10 gerações de *Coturnix coturnix*, totalizando 572 fêmeas, de uma linhagem de codornas de corte. Utilizou-se na fase inicial até o 42º dia de vida, ração com 26% de proteína bruta com fornecimento à vontade. Foram coletados os pesos ao nascimento (P1), peso aos 7, 14, 21, 28 e 35 dias. Para análise da regressão não linear, foram utilizados os modelos de von Bertalanffy, Brody, Gompertz, Logístico e Richards. Para avaliação do melhor modelo que melhor se ajustasse aos dados, foram utilizados os avaliadores de Porcentagem de convergência (C%), Coeficiente de determinação (R^2), Coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), Erro quadrático médio de predição (MEP), Critério de informação de Akaike (AIC) e Critério bayesiano de Schwarz (BIC). Conclui-se que o melhor modelo depende da espécie a ser utilizada, sendo os mais aplicados, os modelos de Gompertz e von Bertalanffy.

Palavras-chave: Brody, Gompertz, Logístico, Richards, von Bertalanffy,

ABSTRACT

MONTES, Bárbara Costa, Instituto Federal Goiano – Campus Morrinhos, December 2022.

Nonlinear Regression Models in Growth Curve Studies. Advisor: Jeferson Corrêa Ribeiro.

The aim of this work was to study non-linear regression models in animal growth curve studies. Nonlinear regression models have been shown to be suitable for describing growth curves, as they present parameters that can be interpreted biologically. These are mainly characterized by weight at maturity, which represents weight in adulthood, and growth velocity, or maturity rate, which represents a measure of precocity. Different non-linear models are presented in the literature to describe animal growth curves, and each of these models has its advantages and disadvantages. A database of 10 generations of *Coturnix coturnix* was used, totaling 572 females, from a lineage of meat quails. In the initial phase, up to the 42nd day of life, a feed with 26% crude protein was fed ad libitum. Birth weights (P1), weight at 7, 14, 21, 28 and 35 days were collected. For the non-linear regression analysis, the von Bertalanffy, Brody, Gompertz, Logistic and Richards models were used. To evaluate the best model that best fitted the data, the evaluators of Percentage of convergence (C%), Coefficient of determination (R^2), Adjusted coefficient of determination (R^2_{aj}), Mean squared error of prediction (MEP), Criterion Akaike Information Criterion (AIC) and Schwarz Bayesian Criterion (BIC). Conclude that the best model depends on the species to be used, the most applied being the Gompertz and von Bertalanffy models.

Keywords: Brody, Gompertz, Logistics, Richards, von Bertalanffy,

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	16
3.1. Análises estatísticas	16
3.2. Avaliadores de qualidade de ajuste	16
3.2.1. Porcentagem de convergência (C%):	17
3.2.2. Coeficiente de determinação (R^2):.....	17
3.2.3. Coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}):.....	17
3.2.4. Erro quadrático médio de predição (MEP):.....	17
3.2.5. Critério de informação de Akaike (AIC):.....	18
3.2.6. Critério bayesiano de Schwarz (BIC):.....	18
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	18
5. CONCLUSÃO.....	21

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um país que vem desde 2002 se desenvolvendo na coturnicultura. Por ser uma atividade recente, possui várias deficiências que necessitam de desenvolvimento de técnicas e metodologias voltadas para o melhoramento genético. Uma das principais características fenotípicas de interesse comercial na coturnicultura de corte é o peso corporal, pode ser utilizado como critério para seleção de animais mais precoces entre linhagens ou entre animais da mesma linhagem, principalmente durante a fase de crescimento (SILVA, 2016).

Os programas de melhoramento sempre utilizaram o desenvolvimento físico, mensurando o peso corporal de indivíduos determinados em uma determinada idade, como uma das principais características a serem selecionadas. Com essas medidas, os animais podem ser comparados e selecionados de acordo com os objetivos especificados pelo programa. Com o tempo, o uso extensivo dessa característica é muito importante para o desenvolvimento de linhagens de alto desempenho em diversas espécies animais (MIGNON-GRASTEAU *et al.*, 2001).

Para LONG (1973), alguns autores contradizem essa variável com o uso intensivo, indicando que a escolha não deve levar em conta apenas o peso, mas sua composição, que é o resultado da distribuição ou proporção dos tecidos, principalmente músculo, osso e gordura. Podemos encontrar um recurso facilmente reconhecível. A resposta está diretamente relacionada à qualidade e quantidade da carne produzida. Portanto, é relevante entender a curva de crescimento.

Uma desvantagem da seleção para altas taxas de crescimento é que esta é altamente correlacionada com o peso assintótico e resultaria em animais maiores na fase adulta quando comparados aos de crescimento lento o que exige manejo diferenciado de reprodutores para que não atinjam altos pesos corporais comprometendo a reprodução (TAYLOR, 2008).

De acordo com LAIRD & HOWARD (1967) sob diversas condições de avaliação, como tempo, dose, entre elas, o motivo fundamental para usar um modelo não linear na curva de crescimento está nas informações contidas nos parâmetros, que em alguns casos podem fornecer estimativas de taxa de crescimento, maturidade e peso de maturidade e coordenadas de tempo por meio de pesos em alguns casos.

A importância desses parâmetros para o melhoramento animal é que além de fornecer informações sobre as variações genéticas e ambientais que ocorrem entre avaliações sucessivas, também é possível detectar animais mais velhos e mais pesados na população. Outra vantagem de usar um modelo não linear é que ele permite entender a função de crescimento da população.

Isso permite o planejamento de mudanças nas estratégias de alimentação e seleção de animais para melhor controle do ganho de peso (THOLON & QUEIROZ, 2009) e (MANSOUR *et al.*, 1991).

De acordo com RICHARDS (1959), o primeiro modelo não linear a ser colocado em prática para o estudo de curvas de crescimento foi o de von Bertalanffy. Os modelos de Brody, Richards, entre outros, se deram através da redefinição o primeiro. A partir do modelo de Richards fizeram adaptações que resultaram nos modelos Logístico e de Gompertz (NAHASHON *et al.*, 2006)

Segundo GOTUZZO (2018), para descrever a curva de crescimento dos animais podem ser utilizados muitos modelos não lineares e são adotados os critérios de qualidade de ajuste para ajudar na escolha do modelo que melhor dita o crescimento da espécie, linhagem ou raça. Os parâmetros genéticos estimados só vão ser de grande precisão nos programas de melhoramento genético, através da escolha do modelo ideal.

O presente estudo foi desenvolvido com o objetivo de utilizar as funções não lineares para descrever o crescimento corporal de codornas, determinando qual o modelo não linear que melhor se ajusta aos dados de crescimento de codornas japonesas para corte.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

GOTUZZO (2018), destaca que na pesquisa avícola, modelos matemáticos são comumente usados em pesquisa na área avícola, para descrever fenômenos biológicos como crescimento, produção de ovos, eclosão, digestão e absorção de nutrientes. E com isso, as variáveis quantitativas são usadas para representar fatores que afetam qualquer tipo de fenômeno. O desenvolvimento dos animais desde o nascimento até a idade adulta segue uma curva em forma de S que é acelerada até a puberdade e depois é anulada pela regulação do sistema hormonal, fazendo com que esse crescimento seja motivado por vários aspectos, como condições ambientais e sexo (OLIVEIRA et al., 2013).

De acordo com MAZUCHELI & ACHCAR (2002), uma das tarefas recorrentes em análises estatísticas é a avaliação da possível relação entre uma variável dependente com uma ou mais variáveis independentes. Este objetivo é alcançado por meio dos conhecidos modelos de regressão, que são divididos em duas classes que se diferem segundo sua resolução matemática: os lineares e os não lineares.

Segundo RICHARDS (1959), o estudo das curvas de crescimento por modelos não lineares começa com o modelo de von Bertalanffy usado para estudos de metabolismo. Porém, é no estudo de dados longitudinais, ou seja, medidas repetidas em um determinado período de tempo, que o uso de modelos não lineares é plenamente alcançado. Este tipo de pesquisa é extremamente importante na produção animal, especialmente em pesquisas envolvendo unidades experimentais ou indivíduos de diferentes subgrupos ou tratamentos (sexo, raça, etc.).

A taxa de crescimento é um importante parâmetro variável em um programa de melhoramento genético de codornas, pois quanto mais rápido a codorna crescer, menor será o tempo entre os adultos, o que pode reduzir o gasto alimentar, reduzir os intervalos de geração e, portanto, aumentar o ganho genético por geração (DRUMOND et al., 2013).

Em um modelo não linear, a matriz de informações do sistema contém todos ou parte dos parâmetros em seus elementos, que serão estimados, e a solução do problema depende da substituição dos parâmetros por valores possíveis. Os valores iniciais dos dados de ajuste são muito grandes, de modo que afetam o número de iterações e a velocidade de convergência.

A estimativa dos parâmetros requer uma solução numérica, que é completada pelo método de Gauss-Newton, também conhecido como método de linearização. Este método usa a aproximação de expansão da série de Taylor para aproximar o modelo de regressão não linear para linear e por meio do método dos mínimos quadrados ordinários. O processo iterativo

dessas etapas leva a uma solução para o problema de regressão não linear (THOLON & QUEIROZ, 2009).

Conforme citado por RIBEIRO (2014), a viabilidade do estudo da curva de crescimento com base de três a quatro parâmetros é uma das grandes vantagens dos modelos não lineares. Na tabela 1, estão alguns modelos não lineares usados em diversas pesquisas que envolvem curvas de crescimento.

O parâmetro A é uma estimativa do peso assintótico (peso adulto) quando atingido, ou o peso estimado na última pesagem; o parâmetro b não tem interpretação biológica, mas é importante para modelar a curva sigmóide indicando a proporção do crescimento assintótico a ser ganho depois do nascimento; o parâmetro k , também conhecido como índice de maturidade, é a relação entre a taxa máxima de crescimento e o tamanho adulto; o parâmetro m que molda a curva existe em alguns modelos, como o modelo de Richards e indica o ponto a partir do qual passa a crescer com menor velocidade e, por fim, e_i é o erro aleatório (RIBEIRO, 2014).

Na literatura, existem vários trabalhos com o objetivo de estudar a curva de crescimento em animais. NASCIMENTO et al. (2017), verificaram que os modelos logístico, gamma e polinomial cúbico apresentaram as melhores estimativas para explicar o comportamento do peso dos suínos machos e fêmeas do nascimento ao peso de abate. GRIESER et al. (2018) concluiu que o modelo de melhor ajuste foi o de Gompertz para descrever a curva de crescimento de 1350 codornas de postura e de corte. CARVALHO et al. (2020) utilizaram o modelo não linear de Gompertz para descrever a curva de crescimento de 300 peixes da espécie *Oreochromis niloticus*, com resultados satisfatórios.

ALVES et al. (2020) trabalhando com dados de crescimento, utilizou os modelos de Gompertz e von Bertalanffy para determinação da curva de crescimento de bovinos da raça Guzerá. Andrade utilizou os modelos de von Bertalanffy, Brody, Gompertz, Richards e Logístico para estimar a curva de crescimento de capivaras em cativeiros e sendo o modelo de von Bertalanffy o que melhor ajustou aos dados. OLIVEIRA et al. (2021) utilizaram 1.501 registros de peso de caprinos da raça Alpina e constaram que o modelo de Gompertz foi o mais indicado para descrever a curva de crescimento.

Tabela 1. Modelos de regressão não linear usados para descrever curvas de crescimento animal.

Modelo não linear	Modelo de curva de crescimento	Referência
von Bertalanffy	$y_i = A(1 - b \exp^{-kt_i})^3 + e_i$	VON BERTALANFFY (1957)
Brody	$y_i = A(1 - b \exp^{-kt_i}) + e_i$	BRODY (1945)
Gompertz	$y_i = A \exp^{(-\exp(b - kt_i))} + e_i$	GOMPERTZ & PHILOS (1825)
Logístico	$y_i = \frac{A}{(1 + \exp^{(b - kt_i)})} + e_i$	RATKOWSKI (1983)
Richards	$y_i = \frac{A}{(1 + \exp^{(b - kt_i)})^{\frac{1}{m}}} + e_i$	RICHARDS (1959)
Schnute	$y_i = \frac{A}{(1 + m \cdot \exp^{(bk - t_i)})^{\frac{1}{m}}} + e_i$	SCHNUTE (1981)
Mitscherlich	$y_i = A(1 - \exp^{(kb - kt_i)}) + e_i$	MITSCHERLICH (1919)
Meloun I	$y_i = A - b \cdot \exp^{(-kt_i)} + e_i$	MELOUN & MILITKY (1996)
Meloun II	$y_i = A - \exp^{(-b - kt_i)} + e_i$	MELOUN & MILITKY (1996)
Michaelis-Menten	$y_i = \frac{At_i}{t_i + b} + e_i$	MICHAELIS & MENTEN (1913)
Michaelis-Menten modificado	$y_i = \frac{b \cdot k^m + At_i^m}{k^m + t_i^m} + e_i$	LOPEZ <i>et al.</i> (2000)
Weibull	$y_i = A - b \cdot \exp^{-\exp^k t_i^m} + e_i$	RATKOWSKI (1983)

y_i é o valor observado, A é o peso assintótico, b é a constante de integração, k é o índice de maturidade, t_i é o tempo dado em dias, m é o parâmetro que dá forma à curva, e_i é o erro aleatório.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Foi utilizado um banco de dados de 10 gerações de *Coturnix coturnix*, proveniente do programa de melhoramento genético de aves do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa – MG, totalizando 4.377 machos e 4.563 fêmeas, de uma linhagem de codornas de corte.

As aves foram alojadas em piso de concreto forrado com maravalha. Utilizou-se na fase inicial até o 42º dia de vida, ração com 26% de proteína bruta e 2950 Kcal de energia metabolizável por kg de ração com fornecimento à vontade. Até o 21º dia de vida das aves foram utilizados programas de luz que constavam de 24 horas de iluminação. Do 21º ao 28º dia de vida, adotou-se a iluminação natural. As fêmeas foram transferidas para as gaiolas de postura aos 28 dias, para controle da produção de ovos, com programa de luz com 16 horas de iluminação.

Os pesos foram coletados em balanças de precisão com três casas decimais. Foram coletados os pesos ao nascimento (P1), peso aos 7, 14, 21, 28 e 35 dias (P7, P14, P21, P28 e P35, respectivamente).

3.1. Análises estatísticas

Para análise da regressão não linear, foram utilizados os modelos de von Bertalanffy, Brody, Gompertz, Logístico e Richards. A grande vantagem dos modelos não lineares é a possibilidade do estudo da curva de crescimento a partir de três ou quatro parâmetros.

Para a obtenção das estimativas dos parâmetros de cada modelo não linear, avaliadores da qualidade de ajuste e teste de identidade de modelos, utilizou-se o método Marquardt cujas soluções foram obtidas por meio do processo iterativo de Gauss-Newton, com o uso do procedimento PROC MODEL do programa estatístico SAS STUDIO (2022).

3.2. Avaliadores de qualidade de ajuste

Para avaliação do modelo que mais se ajustasse aos dados, foram utilizados os avaliadores de Porcentagem de convergência (C%), Coeficiente de determinação (R^2), Coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), Erro quadrático médio de predição (MEP), Critério de informação de Akaike (AIC) e Critério bayesiano de Schwarz (BIC), que serão explicados a seguir:

3.2.1. Porcentagem de convergência (C%):

Segundo Ribeiro (2014), modelos que possuem maiores valores de porcentagem de convergência são capazes de se ajustarem aos dados de cada animal individualmente. Segundo Silveira (2010), a porcentagem de convergência é utilizada para observar por meio da porcentagem de ajuste qual modelo que possui maior facilidade de se convergir, ou seja, o quanto o modelo é capaz de se ajustar aos dados.

3.2.2. Coeficiente de determinação (R^2):

De acordo com Ribeiro (2014), para o coeficiente de determinação ou R^2 , quanto maior o valor de R^2 maior é a correlação do valor estimado com o valor observado. Isso se dá porque o mesmo, representa a proporção da variação total de uma variável observada y , que é explicada pela variação de outra variável estimada \hat{y} , dado por:

$$R^2 = (r_{y,\hat{y}})^2$$

3.2.3. Coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}):

Ribeiro (2014), considerou que o coeficiente de determinação ajustado ou R^2_{aj} é utilizado para fazer a comparação da qualidade de modelos usando o coeficiente de determinação (R^2) com diferentes números de parâmetros e/ou diferentes observações (n), é dada pela fórmula:

$$R^2_{aj} = R^2 - \left(\frac{p-1}{n-p} \right) (1 - R^2)$$

no qual p é o número de parâmetros na função, incluindo o intercepto. Igualmente ao R^2 , modelos que possuem maiores valores para R^2_{aj} indicam que possuem um melhor ajustamento do mesmo aos dados.

3.2.4. Erro quadrático médio de predição (MEP):

De acordo com Chrobok et al. (2004) e Ribeiro (2014), um dos critérios mais adequados para colocar um a qualidade de um modelo de regressão é o erro quadrático médio de predição. Para esse avaliador, menores valores de MEP indicam melhores ajustes pelo modelo aos dados. Esse modelo é representado pela fórmula:

$$MEP = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}$$

em que n é o número de observações, \hat{y}_i representa os valores estimados considerando valores dos parâmetros provenientes de um ajuste sem a presença da observação i .

3.2.5. Critério de informação de Akaike (AIC):

Segundo Ribeiro (2014), o critério de informação de Akaike ou AIC nem sempre o modelo mais parametrizado é melhor, ou seja, menores valores de AIC refletem um melhor ajuste (BURNHAM e ANDERSON, 2004) e (AKAIKE, 1974). Sua expressão é dada por:

$$AIC = -2\loglike + 2p$$

em que p é o número de parâmetros e \loglike o valor do logaritmo da função de verossimilhança considerando as estimativas dos parâmetros.

3.2.6. Critério bayesiano de Schwarz (BIC):

Sua fórmula é dada por:

$$BIC = -2\loglike + p \ln(n)$$

em que n é o número de observações utilizadas para ajustar a curva. O critério bayesiano de Schwarz segue a mesma linha de raciocínio do AIC, pois penaliza modelos com maior grau de parametrização, e por isso, quanto menor for o valor de BIC (SCHWARZ, 1978), melhor será o ajuste do modelo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A tabela 2 mostra as médias de peso das codornas de acordo com os dias da pesagem. É esperado que o desvio padrão e o coeficiente de variação sejam mais próximos de zero, indicando que os dados estão homogêneos. Segundo MANCUSO et al. (2019), o desvio padrão de uma variável é uma estimativa da variabilidade da mesma, na população de onde a amostra foi retirada. E o CV é interpretado como a variabilidade dos dados em relação à média. Quanto maior o CV mais disperso é o conjunto de dados.

Os resultados para cada avaliador da qualidade de ajuste, considerando todos os modelos não lineares ajustados para os dados podem ser observados na tabela 3.

Tabela 2 - Média de pesos do nascimento até 42 dias de vida de codornas da espécie *Coturnix coturnix*.

Variáveis	Média (g)	Desvio Padrão	CV	Valor Mínimo (g)	Valor Máximo (g)
Macho = 4.377 animais					
P1	9,84	1,17	11,92	5,60	13,65
P7	35,11	8,95	25,48	6,40	65,16
P14	89,57	18,77	20,95	11,06	139,84
P21	154,26	29,50	19,12	48,80	278,23
P28	214,68	34,28	15,97	81,00	320,66
P35	254,24	57,96	22,80	114,41	270,75
P42	273,37	37,52	13,73	131,27	398,14
Fêmea = 4.563 animais					
P1	9,89	1,14	11,48	5,30	13,94
P7	35,48	8,87	24,99	10,00	63,18
P14	91,45	18,97	20,74	14,60	149,10
P21	158,81	30,22	19,03	20,37	284,66
P28	222,17	35,08	15,79	34,84	238,18
P35	266,62	40,63	15,24	39,07	414,32
P42	300,50	49,73	16,55	134,71	487,10

CV = coeficiente de variação; P1 = peso ao nascimento; P7 = peso aos sete dias; P14 = peso aos 14 dias; P21 = peso aos 21 dias; P28 = peso aos 28 dias; P35 = peso aos 35 dias; P42 = peso aos 42 dias.

É desejável que quanto maior a porcentagem de convergência, o coeficiente de determinação e o coeficiente de determinação ajustável melhor pois, o avaliador determina através destes critérios o quanto um modelo tem a capacidade para se ajustar com os dados e conseguir descrever a curva de crescimento dos animais. E quanto menor os índices de erro quadrático médio de predição, critério de informação de Akaike, critério bayesiano de Schwarz e LogLike, mais ajustável um modelo é considerado.

Ao considerar apenas as fêmeas, os modelos de Brody e Richards apresentam valores de convergência muito baixos, fazendo com que os mesmos não sejam indicados para descrever a curva de crescimento das codornas fêmeas. Devido ao baixo desempenho, esses dois modelos foram eliminados. Já os modelos de Gompertz e von Bertalanffy obtiveram os maiores valores de R^2 e R^2_{aj} e menores valores de MEP, AIC, BIC e LogLike. Também, foram os que obtiveram os melhores desempenhos em todos os avaliadores utilizados nesse estudo, além de obter porcentagem de convergência próximo de 100%.

Tendo em vista somente os machos, os modelos tiveram os piores desempenhos quanto à convergência foram Brody e Richards, sendo eliminados igualmente como observado nas fêmeas. É esperado que um modelo possua altos valores de porcentagem de convergência, uma vez que esse avaliador determina o quanto um modelo é capaz de ajustar aos dados para descrever a curva de crescimento dos animais. Os modelos Gompertz e von Bertalanffy foram

os que melhores se destacaram em todos os parâmetros de avaliação e além de altos valores de porcentagem de convergência.

Tabela 3 - Valores médios dos avaliadores da qualidade de ajuste para fêmeas e machos de *Coturnix coturnix*

Modelo	R²	R²_{aj}	MEP	C%	LogLike	AIC	BIC
Fêmeas							
Gompertz	0,9958	0,9917	6,0720	99,9562	-20,5208	47,0416	46,8793
Brody	0,9837	0,9675	27,5544	65,7537	-27,4344	60,8687	60,7064
von Bertalanffy	0,9951	0,9901	7,3994	98,9045	-21,5400	49,0800	48,9177
Richards	0,9703	0,9406	46,9986	52,1911	-18,7885	43,5770	43,4148
Logístico	0,9945	0,9889	8,3285	99,9562	-23,0563	52,1126	51,9503
Machos							
Gompertz	0,9965	0,9930	4,5854	100,0000	-19,4351	44,8702	44,7079
Brody	0,9823	0,9646	24,9374	84,5363	-27,5861	61,1722	61,0099
von Bertalanffy	0,9949	0,9898	6,9641	98,1727	-21,6329	49,2658	49,1035
Richards	0,9820	0,9639	25,8733	75,9936	-17,7133	41,4266	41,2643
Logístico	0,9960	0,9919	5,4268	100,0000	-21,1365	48,2729	48,1107

R² = coeficiente de determinação; R²_{aj} = coeficiente de determinação ajustado; MEP = erro quadrático médio de predição; C% = porcentagem de convergência; AIC = critério de informação de Akaike; BIC = critério bayesiano de Schwarz; LogLike = logaritmo da função de máxima verossimilhança.

De acordo com PEREIRA et al. (2014) e GONÇALVES JR (2015), observaram melhores ajustes quando compararam diferentes modelos lineares para descrever o crescimento corporal tanto para carcaça e das vísceras digestivas quanto para o desenvolvimento do coração, fígado, moela e intestino de codornas de corte em ambiente térmico de 32°C, respectivamente.

Ao se avaliar o desempenho de codornas de corte dos 22 aos 35 dias de idade mantidas em diferentes ambientes térmicos, observou-se que a estimativa do peso assintótico ou seja, o peso médio à maturidade, independente do sexo ou característica avaliada, no qual, apresentou maiores valores com a utilização do modelo de von Bertalanffy (SOUZA et al., 2014). Em 2021, ANDRADE utilizou os modelos de von Bertalanffy, Brody, Gompertz, Richards e Logístico para estimar a curva de crescimento de capivaras em cativeiros e sendo o modelo de Von Bertalanffy o que melhor ajustou aos dados.

A escolha do modelo Gompertz como o mais adequado para ajustar a curva de crescimento de codornas de corte concorda com os resultados de DRUMOND et al. (2013), RIBEIRO (2014) e ROCHA-SILVA ET AL. (2016). E resultados dos estudos de BALCIOĞLU et al., (2005); KIZILKAYA et al., (2006); NARINK et al., (2010), com codornas japonesas indicam que o modelo que mais se adequa é o de Gompertz (GOTUZZO, 2018).

O modelo Brody não é indicado para modelar a curva de crescimento de codornas de corte, sendo que este resultado concorda com o trabalho de RIBEIRO (2014) e ROCHA-SILVA et al. (2016), que descreveram a insatisfação do desempenho do modelo excluindo-o das análises. O primeiro autor cita que o modelo mais utilizado em dados de bovinos (FORNI et al. 2009) e suínos, e o segundo autor, nos seus estudos não obteve convergência testando o modelo Brody para machos e fêmeas de codornas de corte.

De acordo com os dados analisados nesse estudo, o melhor modelo não linear depende a matriz de informações do sistema que contém todos ou parte dos parâmetros em seus elementos, nos quais serão estimados, e a solução do problema depende da substituição dos parâmetros por valores possíveis (THOLON & QUEIROZ, 2009).

5. CONCLUSÃO

Podemos concluir que o melhor modelo depende da espécie a ser utilizada, sendo os mais aplicados, os modelos de Gompertz e von Bertalanffy. Os melhores modelos para a espécie *Coturnix coturnix* foram os modelos Gompertz, von Bertalanffy e Logístico.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKAIKE, H. A new look at the statistical model identification. **IEEE Transaction on Automatic Control**, v.19, p.716-723, 1974.
- ALVES, R. F. S.; PEREIRA, K. D.; CARNEIRO, A. P. S.; et al. Nonlinear mixed effects models for comparing growth curves for Guzerá cattle. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.21, p.01-10, 2020.
- ANDRADE, P.C.M.; ELIAS, A.M.; NOGUEIRA FILHO, S.L.G; et al. Capybaras growth curve (*Hydrochoerus hydrochaeris* L., 1766) in captivity. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v.4, n.1, p.1553-1570, 2021.
- BRODY, S.; **Bioenergetics and Growth**. Rheinhold Publishing, New York. 1945.
- BURNHAM, K.P.; ANDERSON, D.R. Multimodel Inference: Understanding AIC and BIC in Model Selection. **Sociological methods & research**, v.33, n.2, p.261-304, 2004.
- CARVALHO, J. C.; CORRÊA FILHO, R. A. C.; OLIVEIRA, C. A. L.; et al. Growth curve of Nile tilapia from different families of the AquaAmérica variety. **Brazilian Journal of Biology**, v.82, 2020.
- CHROBOK, V.; MELOUN, M.; SIMÁKOVÁ, E. Descriptive growth model of the height of stapes in the fetus: a histopathological study of the temporal bone. **European Archives of Oto-Rhino-Laryngology**, 261, p.25-29, 2004.
- DRUMOND, E.S.C.; GONÇALVES, F.M.; VELOSO, R.C.; et al. Curvas de crescimento para codornas de corte. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.43, n.10. 2013. p.1872-1877.
- FORNI, S. **Análise da curva de crescimento de bovinos da raça Nelore utilizando funções não lineares em análises bayesianas**. 75f. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Jaboticabal, SP. 2007.
- GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2002.
- GOMPERTZ, B.; PHILOS, T.; On the nature of the function expressive of the law of human mortality, and on a new mode of determining the value of life contingencies. **Royal Society of London**, v.115, p.513–585, 1825.
- GONÇALVES JR, José Ribamar Alves. **Modelos não lineares para descrever o crescimento do coração, moela, fígado e intestino de codornas de corte de ambos os sexos**. 2015. 43 p.

- Monografia de Conclusão de Curso (Bacharelado em Zootecnia), Universidade Federal do Maranhão, Centro de Ciências Agrárias e Ambientais, Chapadinha, 2015.
- GOTUZZO, A. G. **Modelagem não linear de curvas de crescimento em codornas de corte**. 93f. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS. 2018a.
- GRIESER, D. O; MARCATO, M. S.; FURLAN, C. A.; et al. Estimation of growth parameters of body weight and body nutrient deposition in males and females of meat- and laying-type quail using the Gompertz model. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v.47, p.1-8, 2018.
- LAIRD, A.K.; HOWARD, A. Growth curves in inbred mice. **Nature**, v.213, n.5078, p.786-788, 1967.
- LONG. R.L.; El sistema de evaluación de Ankony y su aplicación en la mejora del ganado. Colorado. **Ankony Corporation**, 20p. 1973.
- MANSOUR, H. et al. Analysis of covariance structure of repeated measurements in holstein conformation traits. **Journal of Dairy Science**, v.74, n.8, p.2757-2766, 1991.
- MAZUCHELI, J.; SOUZA, R.M.; e PHILIPPSEN, A.S. Modelo de crescimento de Gompertz na presença de erros normais heterocedásticos: um estudo de caso. **Revista Brasileira de Biometria**, São Paulo, v.29, n.1, 2011. p.91-101.
- MIGNON-GRASTEAU, S.; BEAUMONT, C.; RICARD, F.H. Genetic Analysis of a Selection Experiment on the Growth Curve of Chickens. **Poultry Science**, v.80 p.849-854, 2001.
- NAHASHON, S.N.; AGGREY, S.E.; ADEFOPE, N.A.; et al. Growth Characteristics of Pearl Gray Guinea Fowl as Predicted by the Richards, Gompertz, and Logistic Models. **Poultry Science**.v.85. 2006. p. 359–363.
- NARINÇ, D.; KARAMAN, E.; FIRAT, M.Z. et al. Comparison of non-linear growth model to describe the growth in japanese quail. **Journal of Animal and Veterinary Advances**, v. 9, n. 14, p. 1961-1966, 2010b.
- NASCIMENTO, C.A.M.S.; RIBEIRO, M.N.; ROCHA, L.L.; LUCENA, L.R.R. Avaliação de curvas de crescimento em suínos. **Archivos de Zootecnia**, v.66, n.255, p.317-323, 2017.
- OLIVEIRA, D.P.; SONOHATA, M.M.; ROSSI, R.M. et al. Modelagem Bayesiana em curvas de crescimento em bovinos de corte: Pantanal Sul - Mato-Grossense, subregião de Aquidauana. **X Simpósio Brasileiro de Melhoramento Animal**. Uberaba, MG – 18 a 23 de agosto de 2013.
- OLIVEIRA, J.A.; PIRES, L.C.; SILVA, L. P.; et al. Curvas de crescimento em caprinos da raça alpina criados no semiárido nordestino. In: OELKE, C.A. **Zootecnia [livro eletrônico]: pesquisa e práticas contemporâneas: volume 2**. Guarujá, SP: Científica Digital, 2021.
- PEREIRA, W. G.; SIQUEIRA, J. C.; BONFIM, D. S.; RIBEIRO, F. B.; BOMFIM, M. A. D.; OLIVEIRA, F. L.; RIBEIRO, L. F. B.; GONCALVES JUNIOR, J. R. A. Modelos não lineares

- para descrever o crescimento da carcaça de codornas de corte. In: **XXIV Congresso Brasileiro de Zootecnia**, 2014, Vitória. In: *Xxiv Congresso Brasileiro De Zootecnia*, 2014
- RATKOWSKI, D.A. **Nonlinear regression modeling: a unified practical approach**. Marcel Dekker, New York. 1983.
- RIBEIRO, J.C. **Identidade de modelos não lineares e regressão aleatória para o estudo da curva de crescimento de codornas de corte em diferentes gerações sob seleção**. 69f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2014a.
- RICHARDS, F.J. A flexible growth function for empirical use. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.10, p.290-300, 1959.
- SAS Institute Inc. **Statistical Analysis System user's guide**. Version 9.2 ed. Cary: SAS Institute USA, 2008. Licenciado pela Universidade Federal de Viçosa, 2013.
- SCHWARZ, G.E.; Estimating the dimension of a model. **Annals of Statistics**, v.6, n.2, p. 461–464, 1978.
- SILVA, M. R.; ARAUJO, C. V.; PIRES, A.V.; DE PAULA, E. J. H.; FERREIRA, E. B.; SILVA; F. G. Curva de crescimento de codornas de corte por meio de modelos de regressão não-lineares. **Archives of Veterinary Science**, v.21, n.4, p.26-00, 2016.
- SILVEIRA, F.G. **Classificação multivariada de modelos de crescimento para grupos genéticos de ovinos de corte**. 2010. 74f. Dissertação (Mestrado em Estatística Aplicada e Biometria) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- SOUSA, M. S. et al. Determinação de limites superiores da zona de conforto térmico para codornas de corte aclimatizadas no Brasil de 22 a 35 dias de idade. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v.15, n.2, p.350-360, 2014.
- TAYLOR, C.S. **Genetic Size-scaling**. In: Rauw, W.M. *Resource Allocation Theory Applied to Farm Animal Production*. CABI International, Wallingford, UK, p.147–168, 2008.
- THOLON, P.; QUEIROZ, S.A. Modelos matemáticos utilizados para descrever curvas de crescimento em aves aplicados ao melhoramento genético animal. **Ciência Rural**, v.39, n7, p. 2261-2269, 2009.
- VON BERTALANFFY, L. Quantitative laws for metabolism and growth. **The Quarterly Review of Biology**, v.32, p.217–231, 1957.