

JOSELICE DA SILVA PEREIRA

**BIBLIOMETRIA E ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE MODELOS DE
REGRESSÃO NÃO LINEARES PARA CURVAS CRESCIMENTO EM
CODORNAS DE CORTES**

**TERESINA – PI
2022**

JOSELICE DA SILVA PEREIRA

**Bibliometria e análise comparativa entre modelos de regressão não lineares
para curvas crescimento em codornas de cortes**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal da Universidade Federal do Piauí como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciência Animal.

Área de concentração: Produção Animal

Orientador: Prof. Dr. Severino Cavalcante de Sousa Júnior

FICHA CATALOGRÁFICA
Universidade Federal do Piauí
Biblioteca Setorial CCA
Serviço de Representação Temática da Informação

P436b Pereira, Joselice da Silva.

Bibliometria e análise comparativa entre modelos de regressão não lineares para curvas crescimento em codornas de cortes / Joselice da Silva Pereira. -- 2022.
88 f.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Piauí, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal, 2023.
"Orientador: Prof. Dr. Severino Cavalcante de Sousa Júnior ."

1. Animal Growth Curve. 2. Coturnicultura. 3. Mapeamento bibliográfico. 4. Modelos não-lineares de aves. I. Sousa Júnior, Severino Cavalcante. II. Título.

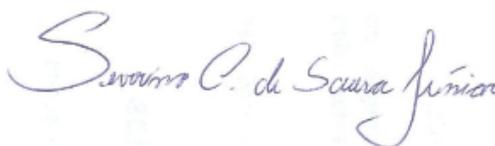
CDD 636.59

**BIBLIOMETRIA E ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE MODELOS DE
REGRESSÃO NÃO LINEARES PARA CURVAS CRESCIMENTO EM CODORNAS
DE CORTES**

JOSELICE DA SILVA PEREIRA

Dissertação aprovada em: 01 de março de 2022

Banca Examinadora:



Prof. Dr. Severino Cavalcante de Sousa Júnior (Presidente)
CMRV / UFPDPar



Prof. Dr. Luciano Pinheiro da Silva (Externo) / UFC



Profa. Dra. Joashlenny Alves de Oliveira (Externo) / ISPG



Profa. Dra. Marcela Ramos Duarte (Externo) / UESB

*A minha querida mãe (in memoria), família e amigos;
Dedico*

AGRADECIMENTOS

A Deus, por toda misericórdia, fortalecimento e milagre da vida.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal (PPGCA/UFPI), pela oportunidade de realizar o curso, e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudo.

Ao Grupo de Melhoramento Genético-GMA da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri- UFVJM, na pessoa da Profa. Dra. Cristina Moreira Bonafé e Profa. Dra. Ana Fabrícia Braga Magalhães e todos membros. Que possibilitam a aquisição dos dados para concretização da proposta deste trabalho, assim como experiência prática de grande ganho de conhecimento e desenvolvimento de habilidades.

Ao professor, Dr. Severino Cavalcante de Sousa Júnior, pela orientação, ensinamentos, incentivo, paciência, empatia, força, exemplo e confiança durante todo o trabalho.

Ao professor, Dr. José Elivalto Guimarães Campelo, pela colaboração, ensinamentos e contribuição no início da proposta de trabalho.

Aos professores, Dr. Luciano Pinheiro da Silva, Dra. Joashlenny Alves de Oliveira e Dra. Marcela Ramos Duarte, por disponibilizarem sua presença na banca examinadora nesta defesa de dissertação.

A todos os Docentes do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia Tropical, por todo compartilhamento e ensinamentos durante todo o processo de aprendizagem.

Sumário

1 INTRODUÇÃO GERAL	13
2 REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1 Codornas	15
2.2 Curva de Crescimento Animal	18
2.3 Modelos não lineares para ajuste de curvas de crescimento	21
3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	28
CAPITULO I: Curva de Crescimento Animal: mapeamento científico e revisão sistemática	37
INTRODUÇÃO	39
MATERIAL E MÉTODOS	40
RESULTADOS.....	41
CONCLUSÃO	55
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56
CAPITULO II: Comparação de modelos não lineares na avaliação do crescimento em codornas de corte.....	58
INTRODUÇÃO.....	61
MATERIAIS E MÉTODOS	62
RESULTADOS E DISCUSSÃO	71
CONCLUSÃO	82
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	83
APÊNDICE.....	88

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Estamos mais relevantes do efetivo de produção de codornas no Brasil..... 16
- Figura 2.** Tamanho efetivo e produção de ovos de codornas no Brasil.....17

CAPÍTULO I

- Figura 1.** Número de publicações anuais dentro do intervalo de 2012 à 2021 nas bases indexadas pesquisadas com os descritores (*"quail" and "growth" and "curve"*).....39
- Figura 2.** Distribuição das publicações indexadas por país na base Web of Science e Scopus com os descritores (*"quail" and "growth" and "curve"*) de 2012 a 2021.....40
- Figura 3.** Mapeamento de termos relevantes relacionados a (*"quail" and "growth" and "curve"*).....41
- Figura 4.** Evolução anual de artigos indexados na Web of Science e Scopus com os indexadores (*"quail" and "growth" and "curve" and "Japanese" and "non-linear model"*) de 2012 a 2021.....43
- Figura 5.** Distribuição das publicações indexadas por país na base Web of Science e Scopus com o descritor (*"quail" and "growth" and "curve" and "Japanese" and "non-linear model"*) de 2012 a 2021.43
- Figura 6.** Distribuição das publicações indexadas por áreas de pesquisa nas bases Web of Science e Scopus com o descritor (*"quail" and "growth" and "curve" and "Japanese" and "non-linear model"*) de 2012 a 2021.44
- Figura 7.** Mapeamento de termos relevantes relacionados ao termo (*"quail" and "growth" and "curve" and "Japanese" and "non-linear model"*), em trabalhos de 2012 a 2021.....45
- Figura 8.** Modelos não lineares identificados nos trabalhos indexados nas bases Web of Science e Scopus, através do uso dos descritores (*"quail" and "growth" and "curve" and "Japanese" and "non-linear model"*), após filtro por área de interesse no intervalo de 2012 à 202148
- Figura 9.** Fluxograma baseado no modelo PRISMA com os resultados da seleção dos artigos por grupo de base de dados e total dos inclusos para o estudo.48

CAPÍTULO II

Figura 1. Dados climatológicos da região do experimento.	59
Figura 2. Estimativa do peso em função da idade ajustados pelos modelos não lineares para a linhagem 1, em ambos os sexos, em codornas	74
Figura 3. Estimativa do peso em função da idade ajustados pelos modelos não lineares para a linhagem 2, em ambos os sexos, em codornas	74
Figura 4. Estimativas do peso em função da idade ajustados pelos modelos escolhidos para cada linhagem (1 e 2), em ambos os sexos	74
Figura 5 Estimativas do peso em função da idade ajustados pelos modelos escolhidos para cada sexo, em ambas linhagens (1 e 2)	74
Figura 6. Taxas de crescimento absoluto (TCA) estimadas pelas funções Gompertz e Logístico II, para cada linhagem, em codornas de corte criadas no Vale do Jequitinhonha e Mucuri	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Modelos não-lineares utilizados para descrever a curva de crescimento ..21

CAPÍTULO I

Tabela 1. Número de artigos indexados por bases científicas envolvendo diferentes descritores.....39

Tabela 2. Distribuição das publicações indexadas por áreas de pesquisa nas bases Web of Science e SCOPUS com os descritores “*Animal Growth curve*” OR “*not ruminants*” AND “*beef animal*” OR “*birds*” de 2012 a 2021.41

Tabela 3. Trabalhos resultante das buscas com uso do descritor “*Animal Growth curve*” AND “*non linear models*” AND “*birds*”, com filtro de acordo com as áreas de interesse nas bases Web of Science e Scopus, entre 2012 e 202145

Tabela 4. Estudos inclusos para revisão sistemática.49

CAPITULO II

Tabela 1. Modelos de regressão não lineares utilizados para descrever curvas de crescimento61

Tabela 2. Estatísticas descritivas das observações ao nascimento (P1) e ajustados aos 7 (P7), 14 (P14), 21 (P21), 28 (P28) e 35 (P35) dias de idade, e de ambos os sexos, em codornas de corte67

Tabela 3. Estimativas de médias e erro padrão dos parâmetros, juntamente com as estatísticas dos critérios utilizados para comparar os modelos não lineares avaliando o crescimento de codornas de corte, em função das linhagens e de ambos os sexos70

Tabela 4. Peso assintótico (β_1) e taxa de maturidade (β_3) estimados pelos modelos de Gompertz na linhagem 1 e Logístico II para a linhagem 2, de acordo com o sexo (S), geração (G), mês (MM) e ano (MA) de mensurações em codornas de corte.77

Tabela 5. Correlações fenotípicas entre as estimativas dos parâmetros de pesos corporais em duas linhagens de codornas de corte, acima da diagonal Pearson, e abaixo Spearman.....78

RESUMO

PEREIRA, Joselice da Silva. **Bibliometria e análise comparativa entre modelos de regressão não lineares para curvas crescimento em codornas de cortes.** 2022. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) – Universidade federal do Piauí, Teresina, 2022.

A primeira análise deste estudo foi com o objetivo de realizar uma busca da produção científica e tecnológica a fim de se montar um panorama prospectivo dos avanços científicos sobre curva de crescimento animal e modelos não lineares com destaque para coturnicultura (*Coturnix coturnix*). Foi realizado um prospectivo estudo e/ou análises de cunho científico através de formato digital, plataformas bases da Web of Science, Scopus, Derwent, KCL, RISC e SciELO com uso de descritores específicos. Com estas informações foi possível observar o termo “*quail*” and “*growth*” registrou-se o total de 3.163 artigos indexados respectivamente. De acordo com os resultados, é notório que há um número considerável de publicações sobre curva de crescimento animal, porém ainda há poucos trabalhos publicados e indexados, demonstrando o potencial para estudos utilizando a temática e método estatístico. Assim como trabalhos voltados para as aves que dentro do intervalo de busca dentro das bases. A segunda análise destes estudos foi utilizar 35.024 registros de pesos corporais do nascimento aos 35 dias de idade de duas linhagens de codornas de corte para ambos os sexos, coletados em cinco gerações consecutivas, totalizando 4.378 aves, pertencente entre os períodos de 2012 a 2015; e pertencentes à Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM). O objetivo deste postulado foi realizar a comparação entre 20 modelos de regressão não lineares tradicionais e alternativos (Brody, Função Gama Incompleto, Gamito, Gompertz, Logístico I e II, Meloun I, II, III, IV, V e VI, Michaelis-Menten, Michaelis-Menten Modificado, Mitscherlich, Reynolds, Richards, Schnute, Von Bertalanffy e Weibull), para aquela função que melhor descreve a curva média de crescimento de codornas de corte; e ainda analisar a influência de efeitos de ambiente sobre os parâmetros de estimação (β_1 para o peso à idade adulta; β_2 para a constante de integração aos pesos iniciais do animal; β_3 para taxa de maturação; e β_4 para ponto de inflexão) através do procedimento NLIN do software Statistical Analysis System (SAS, University Edition, 2018). Através dos avaliadores de ajuste (coeficiente de determinação ajustado - R_j^2 ; raiz do erro do quadrático médio - RMSE; critério de informação de Akaike - AIC; critério bayesiano de Schwarz - BIC; e desvio médio absoluto dos resíduos - DMA) constataram que dois modelos não lineares, Gompertz e Logístico II, exibiram ajustes médios ótimos em relação ao restante dos modelos comparados. Estas duas funções foram capazes de descreverem as curvas de crescimento destes indivíduos, em ambos os sexos, ou seja, a função Gompertz descreveu a curva de crescimento para a linhagem 1, enquanto na linhagem 2, o modelo Logístico II foi o melhor ajuste da curva média em codornas de corte criadas no Vale do Jequitinhonha e Mucuri, localizadas no Estado de Minas Gerais.

Palavras-chave: animal growth curve, coturnicultura, mapeamento bibliográfico, modelos não-lineares de aves.

ABSTRAT

PEREIRA, Joselice da Silva. **Bibliometrics and comparative analysis between nonlinear regression models for growth curves in meat-type quail**. 2022. Dissertation (Master in Animal Science) – Federal University of Piauí, Teresina, 2022.

ABSTRACT

The first analysis of this study was aimed at carrying out a search for scientific and technological production in order to assemble a prospective overview of scientific advances on animal growth curves and non-linear models with emphasis on quail farming (*Coturnix coturnix*). A prospective study and/or analysis of a scientific nature was carried out using digital format, base platforms of the Web of Science, Scopus, Derwent, KCL, RISC and SciELO using specific descriptors. With this information it was possible to observe the term (*Coturnix coturnix*). He was prospective study and/or analysis of a scientific nature was carried out using digital format, base platforms of the Web of Science, Scopus, Derwent, KCL, RISC and SciELO using specific descriptors. With this information it was possible to observe the term “quail” and “growth” registered of 3,163 articles were indexed respectively. According to the results, it is clear that there is a considerable number of publications on the animal growth curve, but there are still few published and indexed works, demonstrating the potential for studies using the theme and statistical method. As well as works aimed at birds within the search range within the bases. The second analysis of these studies was to use 35,024 records of body weights from birth to 35 days of age of two lineages of meat quails for both sexes, collected in five consecutive generations, totaling 4,378 birds, belonging to the periods from 2012 to 2015; and belonging to the Federal University of the Jequitinhonha and Mucuri Valleys (UFVJM). The purpose of this postulate was to compare 20 traditional and alternative nonlinear regression models (Brody, Incomplete Gamma Function, Gamito, Gompertz, Logistic I and II, Meloun I, II, III, IV, V and VI, Michaelis-Menten, Modified Michaelis-Menten, Mitscherlich, Reynolds, Richards, Schnute, Von Bertalanffy and Weibull), for that function that best describes the average growth curve of meat quails; and also analyze the influence of environmental effects on the estimation parameters (β_1 for weight to adulthood; β_2 for the constant of integration to the animal's initial weights; β_3 for maturation rate; β_3 and for inflection point) through the NLIN procedure of the Statistical Analysis System software (SAS, University Edition, 2018). Through the adjustment evaluators (adjusted coefficient of determination - R_j^2 ; root mean square error - RMSE; Akaike information criterion - AIC; Schwarz Bayesian criterion - BIC; and mean absolute deviation of residuals - DMA) found that two models nonlinear models, Gompertz and Logístico II, exhibited optimal mean adjustments in relation to the rest of the compared models. These two functions were able to describe the growth curves of these individuals, in both sexes, that is, the Gompertz function described the growth curve for lineage 1, while in lineage 2, the Logistic model II was the best fit of the curve average in meat quails reared in the Jequitinhonha and Mucuri Valley, located in the State of Minas Gerais.

Key words: animal growth curve, bibliographic mapping, coturniculture, non linear models of birds

1 INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil está consolidado como um dos principais produtores avícolas há alguns anos. A criação de codornas é um seguimento da cadeia avícola que tem mostrado desenvolvimento expressivo no Brasil devido à adoção de tecnologias de manejo pelos produtores, além de apresentar várias vantagens em relação à criação de poedeiras e frangos de corte, tais como: menor espaço e demanda por investimentos iniciais, além do sabor peculiar da carne e dos ovos (ROCHA-SILVA *et al.*, 2016; SILVA, *et al.* 2018).

Seu rápido crescimento, precocidade sexual, alta produtividade, baixo investimento e rápido retorno financeiro contribuem fortemente para esta perspectiva (PASTORE *et al.*, 2012). Com a utilização de linhagens específicas para corte, a produtividade e qualidade da carne têm melhorado significativamente, associando-se ao crescente aumento da demanda por este produto (ABREU *et al.*, 2014).

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) entre 2003 e 2014, tanto o efetivo quanto a produção de ovos de codorna tiveram crescimento constante, passando por duas quedas consecutivas em 2015 o efetivo de codornas foi de 21,99 milhões de aves, o que representa um aumento de 8,1% em relação ao ano de 2014 e 2016 o número de codornas foi de 15, 1 milhões de aves. Em 2017 a atividade voltou a crescer apresentou 15,5 milhões de aves, e em 2018 o efetivo de codornas foi de 16,8 milhões de aves, crescimento de 3,9% em relação a 2017, em 2019 apresentou o efetivo de 17,4 milhões de aves, em 2020, estimou-se o efetivo de 16,5 milhões de aves (IBGE, 2020).

As decisões direcionadas à seleção dos melhores animais, para resolver questões ligadas ao melhoramento genético, exigem diversas regras que são derivadas de teorias e conceitos generalizados e, normalmente, não são integradas umas às outras, excluindo o que seria, provavelmente, a melhor estratégia de ação por parte do produtor.

Na literatura existem vários trabalhos estimando curvas de crescimento para aves (MARCATO *et al.*, 2010; ZUIDHOF *et al.*, 2014), galinhas de postura (GALEANO-VASCO; CERON-MUNOZ e NARVAEZ-SOLARTE, 2014), codornas (BONAFÉ *et al.*, 2011; DRUMOND *et al.*, 2013; HAQANI *et al.*, 2021), aves caipiras (MORAIS *et al.*, 2015; VELOSO *et al.*, 2015), dentre outras. Pesquisas veem sendo feitas para a caracterização do crescimento de codornas e de outras aves de interesse econômico.

Isso requer a existência de modelos apropriados e os resultados obtidos com o ajuste dos mesmos devem orientar a conservação das aves de modo que a variabilidade existente entre os animais seja mantida. Para melhor explicar o comportamento desses resultados, modelos não lineares como o de Gompertz, Logístico, Von Bertalanffy e Brody (THOLON; QUEIROZ, 2009), são utilizados para explicar o relacionamento entre o crescimento das aves e a idade.

Segundo Tjørve; Tjørve (2017) o modelo Gompertz é o segundo mais utilizado modelo para descrever o crescimento, atrás somente do modelo Logístico. Portanto, o objetivo geral desta pesquisa foi comparar modelos não linear, com diferentes parâmetros e critérios para curva de crescimento de codornas de corte.

A dissertação foi estruturada conforme as normas para elaboração de dissertações do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia Tropical da UFPI de acordo com a seguinte organização: INTRODUÇÃO GERAL; REVISÃO DE LITERATURA (em que consta a descrição da proposta geral do trabalho e tópicos de grande relevância ao tema da pesquisa; elaborada de acordo com as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT); CAPÍTULO 1: Artigo científico intitulado: Curva de crescimento animal: mapeamento científico e revisão sistemática; elaborados de acordo com as normas da Revista The International Journal of Animal Biosciences¹ e CAPÍTULO 2: Artigo científico intitulado: Comparação de modelos não lineares na avaliação do crescimento em codornas de corte; e CONSIDERAÇÕES FINAIS.

¹ <https://www.cambridge.org/core/journals/animal/information>

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Codornas

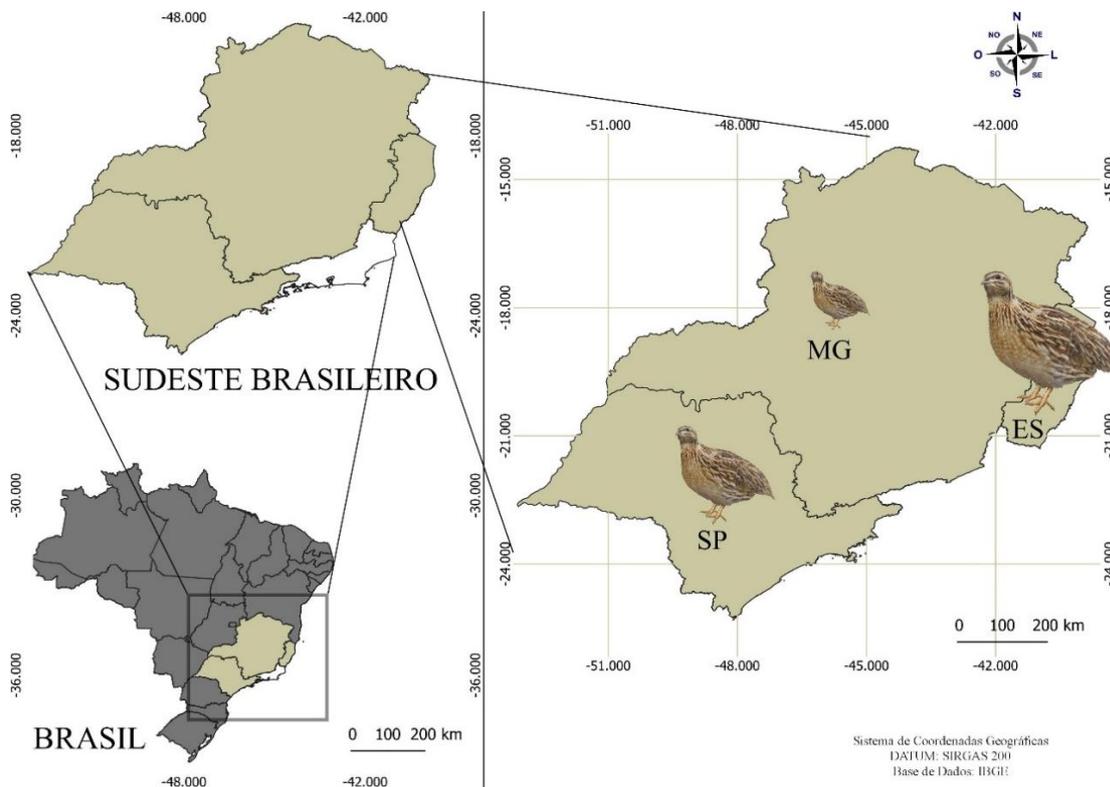
Existem preferências culturais para carne e ovos de codorna. Eles são criados para produção de carne principalmente na Ásia (China e Índia), Europa (Espanha e França) e América do Norte (EUA); já para produção de ovos na tem-se destacado a Ásia (China e Japão), Europa (França) e América do Sul (Brasil) (ONDRUŠÍKOVÁ, *et al.*, 2018).

A introdução de codornas no Brasil ocorreu em 1959 por imigrantes italianos e japoneses, e desde então, tornou-se uma atividade altamente promissora no país (PASTORE *et al.*, 2012) Até a década de 80, a criação destas aves era considerada como uma atividade de subsistência, sendo em seguida aprimorada a partir de estudos e investimentos em estruturas e tecnologias, visando produtividade e qualidade do produto final (BERTECHINI, 2010). Nos últimos anos, a coturnicultura no Brasil vem crescendo de maneira considerável e se tornando uma atividade atrativa e rentável. Esse sucesso vem da possibilidade de rápido retorno do capital investido, aliado ao alto valor nutritivo do seu ovo e à qualidade de sua carne (MÓRI *et al.*, 2005; TEIXEIRA *et al.*, 2012).

No Brasil o maior efetivo destes animais está concentrado na região sudeste com efetivo de codorna (63,1%), tendo destaque os Estados de Espírito Santo e São Paulo, com 22,5% e 23,4% da produção nacional, e Minas Gerais 16,2% de aves (IBGE, 2020) (Figura 1).

Dois linhagens de codornas são criadas no Brasil, sendo que a *Coturnix japonica* é exclusiva para produção de ovos; e a *Coturnix coturnix* é utilizada para dupla aptidão (ovos e carne). Curiosamente, esta última linhagem produz ovos de maior tamanho, porém, com menor eficiência do que a codorna japonesa. Existe a necessidade de incrementar a produção de codornas de corte também. Na coturnicultura, as possibilidades de exploração são: produção de carne, produção de ovos, produção de codornas de um dia, e codornas recriadas com 20 a 30 dias de idade (MARQUE, 2019).

Figura 1. Estamos mais relevantes do efetivo de produção de codornas no Brasil.



Fonte: elaborado pela autora (2022)

A carne de codorna é um alimento nutritivo que pode ser utilizado em diversos pratos culinários, dos mais simples até iguarias finas e sofisticadas (SILVA *et al.*, 2017). Pois apresenta aspectos organolépticos distante da carne de frango, principalmente a cor que é escura, contudo pode ser preparada de maneira semelhante à do frango de corte (SAAR *et al.*, 2015). O valor nutricional da carne de codorna, é uma excelente fonte de vitaminas, ácido pantotênico e também de ácidos graxos, além disso possui maiores teores de ferro, fósforo, zinco, cobre e aminoácidos do que a carne de frango (MORAES; ARIKI, 2009).

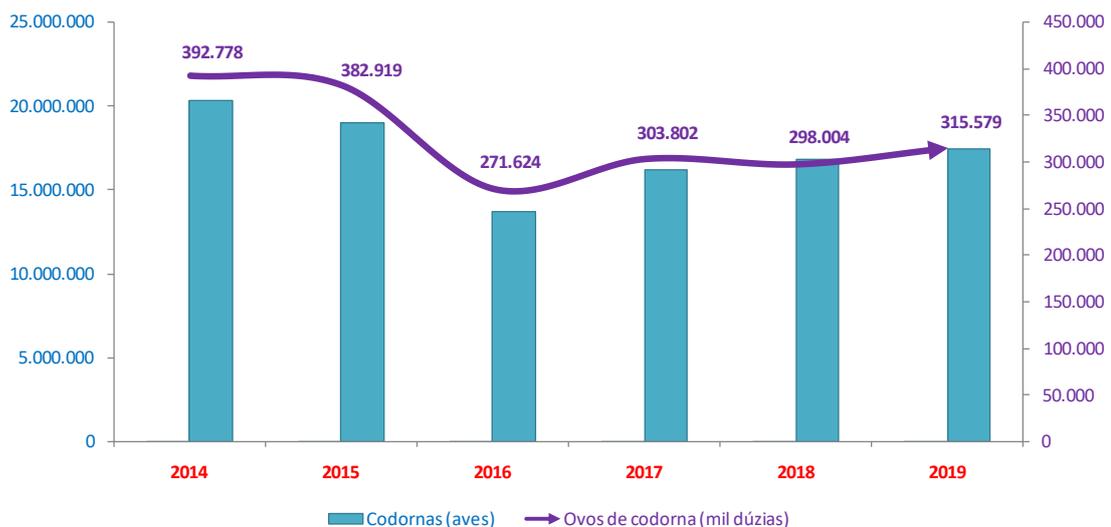
A exploração da codorna como ave produtora de carne ainda está em fase de estabelecimento no Brasil e vem se transformando ao longo dos anos. A carne de codornas comercializada anteriormente era proveniente, exclusivamente, de fêmeas destinadas à produção de ovos e descartadas ao final do ciclo de produção sem idade padronizada, com carcaças com pesos variando entre 70 e 110g, além de carne relativamente dura. Atualmente, existem codornas especializadas com aptidão para a produção de carne, que são abatidas aos 42 dias de idade e com pesos que variam entre 200 a 300g (FERREIRA *et al.*, 2014).

As codornas *Coturnix coturnix japônica* apresentam rápido crescimento, maturidade sexual entre 40 a 45 dias, precocidade na produção, alta produtividade com 300 ovos/ano em média, grande longevidade e alta produção entre 14 a 18 meses, além disso, necessita-se de baixo investimento e pequeno espaço para a criação e conseqüentemente, um retorno financeiro rápido (BASRI; SULASTRI, 2021). A produção de ovos na coturnicultura é uma atividade lucrativa devido às aves apresentarem rusticidade, alta produtividade, resistência às doenças e a zona de conforto térmico ser entorno de 18 a 22 °C e a umidade relativa do ar entre 65 a 70% (SILVA, 2016).

A produção de ovos de codorna (em mil dúzias) do Brasil em 2019 (Figura 2) obtiveram um aumento de 3,4 e 5,9%, respectivamente, em relação ao ano anterior. A região sudeste se destacou por concentrar 63,5% do efetivo de codornas, e 67,3% em produção de ovos. Onde os Estados desta região com melhores desempenhos (codornas) foram, em ordem decrescente (DUARTE *et al.*, 2021):

- (i) Efetivo de aves: São Paulo (23,8%), Espírito Santo (22,4%) e Minas Gerais (16,1%); e
- (ii) Percentual de ovos: Espírito Santo (25,9%), São Paulo (23,6%) e Minas Gerais (16,6%).

Figura 2. Tamanho efetivo e produção de ovos de codornas no Brasil



Fonte: DUARTE *et al.* (2021)

Em alguns estudos as codornas apresentam: (i) boa resistência à maioria das doenças de aves; (ii) pesos corporais variando de 150 a 500 g dependendo da linhagem; (iii) altamente prolíficas e precoces; (iv) curto período de incubação (16 a

18 dias); (v) baixo conteúdo de colesterol (ovo e carne); (vi) alta produção de ovos variando de 250 a 300 unidade por ano (produção total de ovos atingida aos 50 dias de idade); e (vii) expectativa de vida de 2 a 2,5 anos (ANI, 2009).

A literatura possui registros, que atribuí a crescente importância da produção comercial de codornas entre os agricultores familiares à: (i) taxa de crescimento rápido (5 a 6 semanas); (ii) maturidade sexual precoce; (ii) baixa exigência de alimentação e espaço; (iii), baixa exigência de capital e rápido retorno do investimento, entre outros (RAZE, 2016). Com relação ao peso e abate destas aves, onde variou de 140 a 80 g e alcançou pico de produção de ovos, registrados entre 5a e 8a semana de idade (ALTINE *et al.*, 2016).

2.2 Curva de crescimento animal

Hammond (1966) *apud* HERBSTER (2020), informa que o crescimento do animal é um desenvolvimento que advém de forma natural, contribuindo para o aumento do tamanho, até que o indivíduo alcance a maturidade. Este fenômeno compreende as devidas alterações dinâmicas em vários órgãos e/ou tecidos corporais ao passo que o animal cresce. Em codornas de corte, o crescimento destas aves é geralmente analisado pela mensuração dos pesos (em gramas) em idades (dias) padrão, ou seja, ganhos de peso em determinados intervalos de tempo.

Nas codornas de corte, a constituição corporal possui influência da deposição dos tecidos corporais. Outrossim, a informação e/ou compreensão sob padrão de deposição das principais composições corporais, no qual possibilita tomar uma série de decisões gerenciais de alto impacto econômico dentro dos distintos sistemas de produção animal (PAULINO *et al.*, 2009).

Berg; Butterfield (1976) *apud* Leme; Guedes (2005) firmam que o crescimento expõe aspectos e/ou características alométricas. Entre outras palavras, os tecidos corporais detêm taxas de crescimento diferentes, as quais se variam em fases distintas da vida da ave. Dentre os importantes componentes da carcaça, o tecido ósseo possui evolução mais precoce, seguido do tecido muscular, e por último o tecido adiposo.

O crescimento animal pode ser considerado um evento complexo, visto que é condicionado por diversos fatores intrínsecos e extrínsecos, como a ação hormonal e principalmente a alimentação, sendo descrito como o aumento no volume de massa tecidual nos animais (OLIVEIRA *et al.*, 2017). Esse fenômeno biológico e de relevante

importância na produção animal, pois caracteriza-se como um processo de desenvolvimento corporal de alta eficiência econômica.

Na área da análise de crescimento biológico, na maioria das vezes, propõe ajustar funções não-lineares para melhor explicar a natureza sigmoide da relação peso idade. As análises de dados de medidas repetidas são de fundamental importância na produção animal, pois incluem as situações em que os indivíduos, de diferentes tratamentos (raça, etc.), são observados ao longo de diversas condições de avaliação (tempo, doses, entre outros) (SANTOS *et al.*, 2018).

Além de ser um processo relevante para a produção animal, no qual o entendimento e o controle de como esse fenômeno ocorre, pode ser usado como auxílio no desenvolvimento de pesquisas, como por exemplo, para que o manejo nutricional dos animais seja mais eficiente, na determinação do tempo ideal para o abate do animal, além de proporcionar subsídios a programas de seleção animal, visando o melhoramento de características de crescimento relacionadas às diversas raças (LOPES *et al.*, 2011).

O aumento de peso, juntamente com o comprimento, altura e circunferência em função da idade é o que caracteriza o crescimento de um animal. Já o desenvolvimento é caracterizado pelas mudanças que ocorrem na conformação corporal e das funções do organismo (NEME *et al.*, 2006).

Uma forma prática e eficiente de se avaliar o desenvolvimento corporal de um animal é por meio do estudo da curva de crescimento. Esse termo, de acordo com Fernandes *et al.* (2012), refere-se a uma sequência de medidas de determinada característica de alguma espécie ou indivíduo em função do tempo.

A curva de crescimento animal possui três fases: ascendente, estabilização e descendente. Dentre as características relacionadas ao crescimento animal e que são descritas por meio de curvas de crescimento, uma das mais comuns, que não altera o organismo sob análise e que pode ser mensurada a baixo custo, é o peso em determinadas idades. Nas aves a fase inicial é prolongada após a eclosão, desacelerando com o passar da idade e diminuindo o ganho de massa corpórea de forma progressiva. O ponto de inflexão é a mudança de padrão entre ascendência e descendência dentro de uma curva (BRITO, 2007).

Depois do ponto de inflexão da curva, que corresponde à puberdade a taxa de crescimento se torna linear. Os hormônios do crescimento são substituídos pelos hormônios da reprodução e, a partir deste ponto, o ganho de peso se dará pela maior

deposição de gordura, resultando em mudanças conformacionais no indivíduo (OBA *et al.*, 2012).

O crescimento das aves pode ainda ser descrito graficamente por meio de curvas originadas a partir de outros modelos matemáticos, tais como o monomolecular (Brody, 1945), o Logístico e o modelo de von Bertalanffy (BRACCINI NETO *et al.*, 1996). Assim, Oviedo-Rondón (2014) descreveu que o modelo de Gompertz não é o único, no entanto, é o mais estudado principalmente para a descrição de curvas de crescimento de aves, ainda Tjørve; Tjørve (2017) afirmaram que de todos os modelos não lineares de crescimento estudados, Gompertz foi o mais utilizado na modelagem do crescimento animal.

Sampaio (1988) expressou ensaios iniciais a fim de modelar o crescimento animal a partir de modelos dinâmicos determinísticos e empíricos, sendo o peso vivo o principal elemento desta modelagem estando este concernente com a idade. Este autor ainda reporta que os modelos estocásticos foram introduzidos por Sandland e McGilchrist no ano de 1979, onde as informações foram baseadas em uma extensão do modelo Logístico com um acréscimo de um elemento estocástico.

Através de modelos estocásticos, Rondon; Murakami; Sakaguti (2002) exterminando o estudo da curva de crescimento de cada animal, mostrou-se necessário e/ou útil, em pesquisas de melhoramento genético animal. Assim, por meio destes modelos (ou funções) tornou-se factível a melhor obtenção da avaliação da população, sendo capaz de idealizar e/ou planejar metodologias na promoção de mudanças desejáveis quanto a forma da curva de crescimento dos animais, o que poderia ser feito por intermédio de um bom programa de melhoramento animal (p.e. seleção, nutrição adequada, etc.) (GOUS, 1998).

Mendes (2009) destaca que os parâmetros da curva de crescimento são fundamentais na predição de taxas de crescimento, manejos nutricionais, peso à maturidade, graus de maturidade; além de auxiliar os critérios de seleção animal. Logo, as curvas de crescimento são caracterizadas pela associação entre a evolução do crescimento e maturidade, e a idade do indivíduo, destacando a relevância pertinente em pesquisas e/ou recomendações, e promovendo tanto a melhor eficiência de produção em programas de melhoramento, quanto o lucro do produtor rural.

Existem vários fatores que podem influenciar o crescimento dos animais entre ele a genética, o sexo, a nutrição, ambiência e a sanidade animal. (VELOSO *et al.*, 2015; MICHALCZUK *et al.*, 2016).

O crescimento da maioria das espécies de animais, inclusive o das aves, pode ser representado como uma curva sigmoide, sendo está ajustada por modelos não lineares também chamados de regressão não lineares (SILVA *et al.*, 2011).

2.3 Modelos não lineares de crescimento

No ano de 1835, o pesquisador Quetelet foi o pioneiro em tentativas de descrever o crescimento por meio de funções matemáticas, onde as inferências eram através de analogias entre distintas fases do crescimento de um organismo sugerindo uma curva sigmoide para representá-lo (SANDLAND, 1983).

Fitzhugh Júnior (1976) esclarece que uma curva sigmoide retratando uma sequência de mensurações de tamanho (peso corporal), sugere o termo “curva de crescimento” ou “curvas de peso-idade”; e ainda ressalta os fundamentais objetivos quanto a descrição do ajuste em curvas de crescimento, o que implica na precisão e/ou adição de informações numa sequência de pontos peso-idade, pois esta é reduzida, e ainda possui moderadamente alguns parâmetros que tenham interpretação biológica.

Muitos fenômenos podem ser bem ajustados por modelos lineares, mas outros, principalmente os fenômenos biológicos obtém os melhores ajustes por meio da regressão não linear. Isso se deve ao fato do crescimento de um animal ser geralmente mais rápido em sua fase inicial, diminuindo sua velocidade ao longo do tempo e tendendo a uma estabilidade na fase adulta, o que pode ser descrito através de curvas de crescimento, conhecidas como curvas sigmoides ou sigmoidais (ENCINAS; SILVA; PINTO, 2005; MISCHAN; PINHO, 2014).

Os modelos não lineares, geralmente, fornecem bom ajuste, com menos parâmetros do que os modelos lineares, e apresentam parâmetros ou funções destes com interpretação biológica, o que facilita o estudo do peso do animal adulto, da velocidade de crescimento e de pontos críticos de mudanças na velocidade e na taxa de crescimento (SOUZA *et al.*, 2010; SILVA *et al.*, 2011a). São considerados um instrumento nas diversas atividades da produção animal.

A ocorrência e desenvolvimento de determinadas enfermidades, as projeções de futuras incidências ou até mesmo os efeitos como mortalidade, podem ser estimados através de modelos (HIRARA *et al.*, 2014).

Estudos com modelos não-lineares é de grande relevância para poder descrever os fenômenos biológicos dentro da produção animal, principalmente em pesquisas que envolva certas situações em que as unidades experimentais ou indivíduos de diversas subpopulações ou tratamentos (sexo, raça, etc.) são analisados ao longo de várias condições de avaliação, como tempo, doses, entre outros (RONDON *et al.*, 2002).

Dentro dos programas de melhoramento genético animal os modelos não lineares têm sido muito utilizados (SELVAGGI *et al.* 2015). A grande razão de se utilizar esses modelos não-lineares em estudos das curvas de crescimento está na informação existente nos parâmetros. Estimados pelos modelos com apenas três ou quatro parâmetros e com dados de peso e tempo é possível sintetizar as características de crescimento de uma determinada população, permitindo descrever pesos de indivíduos em função de sua idade, possibilitando realizar comparações de animais distintos que estejam em estados fisiológicos semelhantes (FREITAS, 2005).

Além disso, pode-se planejar melhor as estratégias de manejo alimentar e processo de seleção dos animais, bem como fornece informações de variações ambientais ou até mesmo genética que acontecem entre as avaliações seguintes (RONDON *et al.*, 2002). Outra vantagem é a detecção de animais com maior peso em idades precoces de uma população (THOLON; QUEIROZ, 2009).

Para a obtenção de informações que descrevam a curva de crescimento animal é necessário o ajuste de dados de peso-idade de cada indivíduo. E isso pode ser feito por meio do registro de informações tomadas em diversos momentos ao longo da vida dos animais, podendo estes viverem em um mesmo grupo e/ou submetidos a diferentes ambientes e sistemas de criação (LOPES *et al.*, 2011).

De modo geral, as curvas de crescimento são analisadas pelo ajuste de funções não lineares, de modo a compilar dados de todo o ciclo de vida do animal, facilitando a compreensão do processo de crescimento (MALHADO *et al.*, 2008).

Uma das formas de descrever as curvas de crescimento é por meio de modelos de regressão não linear que podem ser representados da seguinte forma:

$$y_i = f(x_i, \theta) + e_i$$

em que:

β_2 : observação da variável dependente designada variável resposta;

x_i : variável independente designada variável explicativa;

$\theta = [\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_p]$: vetor de parâmetros p dimensional desconhecido;

$f = (x_i, \theta)$: função de variáveis regressoras e de parâmetros conhecida como função esperança ou função de regressão;

e_i : erro aleatório não observável suposto independente e identicamente distribuído, normal com média zero e variância desconhecida σ^2 .

Existem na literatura vários modelos de regressão não linear que podem descrever curvas de crescimento animal; os mais utilizados, também chamados de “tradicionais” são: Gompertz (LAIRD, 1965), Logístico (NELDER, 1961), Richards (RICHARDS, 1959), Brody (Brody, 1945) e Von Bertalanffy (VON BERTALANFFY, 1957) além modelos chamados de “alternativos”, tais como: Gamito (GAMITO, 1998), Michaelis-Menten (MICHAELIS; MENTEN, 1913), Schnute (SCHNUTE, 1981), Função Gama Incompleto (WOOD, 1967), e entre outros. Alguns destes modelos (Tabela 1) têm sido testados ao longo do tempo em várias pesquisas para descrever o crescimento animal em geral, em que $f = (x_i, \theta) = f(x_i, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_3)$.

Tabela 1. Modelos não-lineares utilizados para descrever a curva de crescimento

Modelos	Fórmula geral
Brody	$y_i = \beta_1 \left(1 - \beta_2 e^{(-\beta_3 x_i)}\right) + e_i$
Logístico	$y_i = \frac{\beta_1}{\left(1 + e^{(\beta_2 - \beta_3 x_i)}\right)} + e_i$
Gompertz	$y_i = \beta_1 e^{(-e^{(\beta_2 - \beta_3 x_i)})} + e_i$
Von Bertalanffy	$y_i = \beta_1 \left(1 - \beta_2 e^{(-\beta_3 x_i)}\right)^3 + e_i$
Richards	$y_i = \frac{\beta_1}{\left(1 + e^{(\beta_2 - \beta_3 x_i)}\right)^{\beta_4}} + e_i$

Fonte: elaborado pela autora (2022)

Isso significa que ainda existem divergências entre os pesquisadores em prever o modelo que melhor se ajusta às populações em questão. Diante disso, a escolha do modelo não adequado pode gerar equívocos nas estratégias a serem tomadas no manejo geral e prejuízos aos programas de melhoramento genético animal (FREITAS, 2005; THOLON; QUEIROZ, 2009; NARINC *et al.*, 2010; BEIKI *et al.*, 2013; OSEI-

AMPONSAH *et al.*, 2014; LIU *et al.*, 2015; SELVAGGI *et al.*, 2015; ZHAO *et al.*, 2015; MASOUDI; AZARFAR, 2017).

Como via de regra, esses modelos não lineares têm por finalidade delinear uma trajetória assintótica da variável dependente peso de codornas (*em gramas*), em função da variável independente tempo (*em dias*). Normalmente, a diferença entre tais modelos é outorgada pela definição do ponto de inflexão (PI) da curva, que imprime uma forma sigmoide a mesma; não obstante, para algumas funções não lineares este PI pode não existir.

Os modelos comumente utilizados para descrever curva de crescimento dos animais estão descritos abaixo:

2.3.1 Modelo **BRODY**

Esta função também conhecida como Monomolecular foi inicialmente analisada/estudada por Robertson (1908) para avaliação de crescimento em bovinos (DUARTE, 1975).

France; Dijkstra; Dhanoa (1996) reportaram que o modelo de Brody pressupõe que o mecanismo quantitativo de crescimento é constante e independente do peso do organismo.

O modelo Brody descreve o crescimento animal ocorrido após o PI; todavia, seu uso não está restrito à fixação dos valores iniciais.

A maioria dos trabalhos que utilizam este modelo obtiveram sucesso na estimativa dos parâmetros da função quando trabalharam com aves. O modelo (Tabela 1) é representado por:

$$y_i = \beta_1 \left(1 - \beta_2 e^{(-\beta_3 x_i)} \right) + e_i$$

em que:

y_i : peso corporal à idade x_i (ou também conhecido como t);

β_1 : peso assintótico quando x_i tende a mais infinito, ou seja, este parâmetro é interpretado como peso à idade adulta;

β_2 : constante de integração, relacionada aos pesos iniciais dos animais; o valor de

β_2 : estabelecido pelos valores iniciais de y_i e x_i ;

β_3 : taxa de maturação, e é um indicador da velocidade com que o animal se aproxima do seu tamanho adulto;

e_i : erro aleatório associado às observações i .

A taxa de crescimento instantânea (TCI) estima o incremento no peso para cada unidade de tempo t (ou x_i). O modelo de acordo com Freitas (2005) é representado por:

$$TCI = \beta_3(\beta_1 - y_i)$$

Para estudos de crescimento que compreende somente um pequeno número de pesagens, a utilização da função de crescimento de Brody é mais desejável pela facilidade de interpretação biológica e obtenção dos parâmetros, parecendo ser essa a função mais adequada para estudos genéticos de peso e taxa de maturidade (DUARTE, 1975).

Doren *et al.* (1989) estudaram uma alternativa para o ajuste ideal da função de Brody na fase pré-ponto de inflexão, ou seja, na fase inicial de crescimento, e incluíram o peso e a idade iniciais como constantes do modelo. Nesse mesmo trabalho, os autores encontraram uma ligeira diminuição da soma de quadrados dos resíduos devida principalmente a um melhor ajuste do peso inicial.

2.3.2 Modelo Logístico

Função proposta por Verhulst (1838) para elucidar a lei do crescimento de populações humanas (LAIRD, 1966), o modelo Logístico apresenta curva sigmoide e simétrica em relação ao PI.

Robertson (1908) *apud* France; Dijkstra; Dhanoa 1996 introduziu este modelo na ciência animal no ano de 1924, afim de retratar o crescimento animal.

A primeira fase deste modelo (autoaceleração) assemelha-se a função exponencial de taxa relativa de crescimento constante. Assim este modelo leva em consideração a velocidade de evolução (ou crescimento) proporcional ao crescimento efetuado e ao avanço (ou crescimento) que fica por efetuar (SANTANA, 2013).

Como esta função não linear é largamente usado em diversas áreas, na biológica é empregado principalmente para descrever o crescimento ou evolução, como crescimento de seres vivos e evolução de doenças. Devido à grande aplicação por distintos campos de pesquisa, o modelo apresenta diferentes parametrizações, motivadas pela conveniente interpretação que cada uma delas dá ao fenômeno (ZEVIANI *et al.*, 2013).

Os componentes da fórmula são os mesmos definidos para o modelo de Brody. O modelo (Tabela 1) é representado por:

$$y_i = \frac{\beta_1}{(1 + e^{(\beta_2 - \beta_3 x_i)})} + e_i$$

A taxa de crescimento instantânea (TCI) é dada por:

$$TCI = \frac{\beta_3 y_{x_i} (\beta_1 - y_{x_i})}{\beta_1}$$

2.3.3 Modelo GOMPERTZ

Esta função não linear foi desenvolvida em 1825 por Benjamin Gompertz para estudar as leis de natalidade e mortalidade em humanos (LAIRD, 1966). Para descrição do crescimento animal, o pioneiro foi Winsor (1931). O modelo descreve comportamento sigmoidal, assumindo que o crescimento é proporcional ao peso do organismo; e ao atingir o PI o ritmo da evolução se torna mais lento (FRANCE; DIJKSTRA; DHANOA 1996), ou seja, esse modelo baseia-se na taxa de crescimento relativo de forma exponencial. Os componentes da fórmula são os mesmos definidos para o modelo de Brody e Logístico. O modelo (Tabela 1) é representado por:

$$y_i = \beta_1 e^{(-e^{(\beta_2 - \beta_3 x_i)})} + e_i$$

Os componentes da fórmula são os mesmos definidos para o Modelo de Brody. A taxa de crescimento instantânea (TCI) é dada por:

$$TCI = \beta_3 y_{x_i} \log e(\beta_1 / y_{x_i})$$

Como este modelo é utilizado para descrever o crescimento tanto de animais, quanto a de seus tecidos – onde a massa corporal dos animais sempre é superior a 0 (zero) – o que indica que o animal já nasce com algum peso. Esta função vem sendo empregado em várias pesquisas científicas, principalmente na avaliação do crescimento para descrever a curva de crescimento de codornas de corte macho e fêmea, avaliando as projeções de ganho de peso médio, volume de arraçamento, e principalmente seleção dos animais mais precoces para ganho de peso (ROCHA-SILVA *et al.*, 2016).

2.3.4 Modelo VON BERTALANFFY

O pesquisador Ludwing Von Bertalanffy no ano de 1938 apresentou sua equação para demonstrar o crescimento de peixes, no qual o ganho de peso corporal foi o resultado do processo anabólico e da perda de peso, ou seja, foi o produto do

catabolismo, conforme a lei de alometria, baseando-se na hipótese de que o crescimento é a diferença entre estas taxas. Entre outras palavras o ganho de peso foi proporcional à área de superfície do organismo e assim a taxa desse processo pode ser expressa em função do peso corporal (VON BERTALANFFY, 1957). Esta função tem o mais rigoroso suporte nas teorias biológicas, o que lhe capacita resistir melhor à interpretação de seus parâmetros.

Neste modelo o PI é fixo em aproximadamente igual a três. Os componentes da fórmula são os mesmos definidos para o modelo de Brody, Logístico e Gompertz. O modelo (Tabela 1) é representado por:

$$y_i = \beta_1 \left(1 - \beta_2 e^{(-\beta_3 x_i)}\right)^3 + e_i$$

A taxa de crescimento absoluta instantânea (TCI) é dada por:

$$TCI = 3\beta_2\beta_3 y_i e^{-\beta_3 x_i} (1 - e^{-\beta_3 x_i})^{-1}$$

Avaliando a descrição da curva de crescimento de perus usando modelos não lineares, com base no coeficiente de determinação (R^2) e critério de informação Akaike (AIC), o modelo de Von Bertalanffy foi o que melhor se ajustou aos dados analisados, sendo então recomendado para descrever a curva de crescimento desses animais. (JUÁREZ-CARATACHEA *et al.*, 2019).

2.3.5 Modelo RICHARDS

Perotto; Cue; Lee (1992) *apud* Elias (1998) relatam que os modelos Brody, Logístico, Gompertz e Von Bertalanffy são casos especiais do modelo Richards.

Esta função de Richard por apresentar o parâmetro β_4 flexível, o qual determina o PI e que estime na análise uma melhor interpretação biológica, assim pode assumir a forma dos outros quatro modelos já mencionados. Ou seja, por exibir um parâmetro a mais, este o modelo não linear (Richards) geralmente apresenta excelentes ajustes, porém é de convergência difícil.

Os componentes da fórmula são os mesmos definidos para os modelos já citados anteriormente, mas com adição de um novo parâmetro (β_4). O modelo (Tabela 1) é representado por:

$$y_i = \frac{\beta_1}{\left(1 + e^{(\beta_2 - \beta_3 x_i)}\right)^{\frac{1}{\beta_4}}} + e_i$$

em que:

β_4 : constante que define a forma da curva.

O parâmetro β_4 assume o valor de um (1), com isso o modelo adota o peso ao nascer das codornas como PI da curva, resultando em curva não sigmoide. Este modelo foi proposto para descrever o crescimento que ocorre após o PI (ou fase de desaceleração), ou seja, crescimento pós-natal (OLIVEIRA, 1995).

A taxa de crescimento absoluta instantânea (TCI) estima o incremento no peso para cada unidade de tempo t e é dada por:

$$TCI = \beta_1 \beta_2 \beta_3 \beta_4 e^{-\beta_3 x_i} (1 - \beta_2 e^{-\beta_3 x_i})^{\beta_4 - 1}$$

3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, L.R.A.; BOARI, C.A.; PIRES, A.V.; Influência do sexo e idade de abate sobre rendimento de carcaça e qualidade da carne de codornas de corte. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.15, n.1, p.131-140, 2014.

ALTINE, S. *et al.* Basic nutriente requirements of the domestic quails under tropical conditions: a review. **World Scientific News**, v.49, p.223-35, 2016.

ANI, A.O.; OKEKE, G.C.; EMEH, M.B. Response of growing Japanese quail (*Coturnix coturnix japonica*) chicks to diets containing different energy and protein levels. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE NIGERIA SOCIETY FOR ANIMAL PRODUCTION, 34, **Anais...**, Nigeria, p.328-331, 2009.

BASRI, H.; SULASTRI, M.P. Physical Quality of the First Egg of Japanese Quail (*Coturnix japonica* L.) after Given Liquid Herbal Concoction. **Mangifera Edu**, v.5, n.2, p.121-130, 2021.

BEIKI, H. *et al.* Evaluation of growth functions on Japanese quail lines. **Japan Poultry Science Association**, v.50, n.1, p.20-27, 2013.

BERG, R.T.; BUTTERFIELD, R.M. **New concepts of cattle growth**. Austrália: Sydney University Press, 1976. 240p.

BERTECHINI, A.G. Situação atual e perspectivas para a coturnicultura no Brasil. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL, 4; CONGRESSO BRASILEIRO DE COTURNICULTURA, 3, **Anais...**, Lavras, p.1-6, 2010.

BONAFÉ, C.M. *et al.* Modelos de regressão aleatória para descrição da curva de crescimento de codornas de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40, n.4, p.765-771, 2011.

BRACCINI NETO, J. *et al.* Análise de curvas de crescimento de aves de postura. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.25, n.6, p.1062-1073, 1996.

BERG, R.T.; BUTTERFIELD, R.M. **New concepts of cattle growth**. Sydney: Sydney University Press. 1976. 240 p.

BRITO, C.O. **Desempenho e avaliação de carcaça de frangos de corte submetidos a dietas formuladas com base em aminoácidos totais e digestíveis e estimativas de crescimento e da deposição de tecido corporal utilizando equações matemáticas**. 2007. 162 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

BRODY, S. **Bioenergetics and growth, with special reference to the efficiency complex in domestic animals**. Reinhold Publishing Co, New York, 1945.

DRUMOND, E.S.C. *et al.* Curvas de crescimento para codornas de corte. **Ciência Rural**, v.43, n.10, p.1872-1877, 2013.

DUARTE, F.A.M. **Estudo da curva de crescimento de animais da raça Nelore (*Bos taurus indicus*) através de cinco modelos estocásticos**. 1975. 284 f. Tese (Livro-Docência) - Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto.

DUARTE, M.R. *et al.* **Ovos de Codornas: Uma Alternativa Nutricional que tem conquistado a mesa dos mais exigentes consumidores**. In: *Produção Animal e Vegetal*. 1. Ed. Jardim do Seridó: Agron Food Academy, 2021. P. 382-389. Disponível em: <https://agronfoodacademy.com/9786599539633/>. Acesso em: 05 jan. 2021.

ELIAS, A.M. **Análise de curvas de crescimento de vacas das raças Nelore, Guzerá e Gir**. 1998. 128 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

ENCINAS, J.; SILVA, G.F.; PINTO, J.R.R. Idade e crescimento das árvores. Brasília, DF: Universidade de Brasília. Departamento de Engenharia Florestal. **Comunicações técnicas florestais**; v.7, p.43, 2005.

FERNANDES, T.L.; PEREIRA, A.A.; MUNIZ, J.A. Comparação de modelos não-lineares no estudo das curvas de crescimento do caranguejo de água doce. **Revista de Estatística da Universidade Federal de Ouro Preto**, São Paulo, v.2, p.2375-2387, 2012.

FERREIRA, F. *et al.* Características de carcaça de codornas de corte EV1 alimentadas com diferentes níveis de metionina+cistina total. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.66, n.6, p.1855-1864, 2014.

FITZHUGH JÚNIOR, H.A. Analysis of growth curves and strategies for altering their shapes. **Journal of Animal Science**, v.42, n.4, p.1036-1051, 1976.

FRANCE, J.; DIJKSTRA, J.; DHANOA, M.S. Growth functions and their application in animal science. **Annales Zootechnie**, v.45, p.165-174, 1996.

FREITAS, A.R. Curva de crescimento na produção animal **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, n. 3, p. 786-795, 2005.

GALEANO-VASCO, L.F.; CERON-MUNOZ, M.F.; NARVAEZ-SOLARTE, W. Ability of non-linear mixed models to predict growth in laying hens. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.43, n.11, p.573-578, 2014.

GAMITO, S. Growth models and their use in ecological modelling: an application to a fish population. **Ecological Modelling**, v.113, n.1-3, p.83-94, 1998.

GOUS, R.M. Making progress in the nutrition of broilers. **Poultry Science**, v.77, n.1, p.111-117, 1998.

HAMMOND, J. **Principios de la explotación animal**. Zaragoza: Acríbia, 1966. 363p.

HAO, Z. *et al.* Comparative study on growth and developmental model of indigenous chicken breeds in China. **Open Journal of Animal Sciences**, v.5, n.2, p.219-223, 2015.

HAQANI, M.I. *et al.* Quantitative trait loci for Growth-related traits in Japanese quail (*Coturnix japonica*) using restriction-site associated DNA sequencing. **Molecular Genetics and Genomics**, v.296, p.1147-1159, 2021.

HERBSTER, C.J.L. **Ajuste de peso para ovinos deslanados em crescimento**. 2020. 41 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

HIRARA, T. *et al.* Mathematical model of caprine arthritis encephalitis considering the seasonal breeding. **Animal and Veterinary Sciences**, v.2, n.3, p.70-74, 2014.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e estatística. **Produção da Pecuária Nacional**, v.43, p.1-49, 2019. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/84/ppm_2015_v43_br.pdf. Acessado em: 10/ago./2019.

JUÁREZ-CARATACHEA, A. *et al.* Descripción de la curva de crecimiento de pavos locales usando modelos no lineales. **Revista MVZ Córdoba**, v.24, n.1, p.7104-7107, 2019.

LAIRD A. K. Postnatal growth of birth and mammals. **Growth**, v. 30, p. 349-363. 1966.

LEME, P.R.; GUEDES, C. Crescimento eficiente do animal pode aumentar rentabilidade. **Revista Visão Agrícola**, n.3, p.37-39, 2005. Disponível: <https://www.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/va03-producao01.pdf>. Acesso em: 05 jan. 2021.

LIU, X.H. *et al.* Growth curve fitting of Bashan Long-tail chicken during growth and development. **Acta Agriculturae Zhejiangensis**, v.27, n.5, p.746-750, 2015.

LOPES, F.B. *et al.* Ajustes de curvas de crescimento em bovinos Nelore da região Norte do Brasil. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.12, n.3, p.607-617, 2011.

MALHADO, C.H.M. *et al.* Curva de crescimento em ovinos mestiços Santa Inês x Texel criados no Sudoeste do Estado da Bahia. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.9, n.2, p.210-218, 2008.

MALHADO, C.H.M. *et al.* Growth curves in Dorper sheep crossed with the local Brazilian breeds, Morada Nova, Rabo Largo, and Santa Inês. **Small Ruminant Research**, v.84, p.16- 21, 2009.

MARCATO, S.M. *et al.* Crescimento e deposição de nutrientes nos órgãos de frangos de corte de duas linhagens comerciais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, n.5, p.1082-1091, 2010.

MARQUE, R. **Coturnicultura: uma visão geral**. Rio Claro, SP: Agroceres Multimix, 2019. Disponível em: <https://agroceresmultimix.com.br/blog/coturnicultura-uma-visao-gerao/>. Acessado em: 12/ago./2021.

MASOUDI, A.; AZARFAR, A. Comparison of non linear models describing growth curves of broiler chickens feed n different levels of corn bran. **International Journal of Avian & Wild life Biology**, v.2, n.1, p.1-7, 2017.

MENDES, P.N. *et al.* Análise da curva de crescimento difásica de fêmeas Hereford por meio da função não linear de Gompertz. **Ciência Animal Brasileira**, v.10, n.2, p.454-461, 2009

MICHAELIS, L.; MENTEN, M. Die kinetik der invertinwirkung. **Journal Biochemistry**, v.49, p.333-369, 1913.

MICHALCZUK, M.; DAMAZIAK, K.; GORYL, A. Sigmoid models for the growth curves in medium-growing meat type chickens, raised under semi-confined conditions. **Annals of Animal Science**, v.16, n.1, p.65-77, 2016.

MISCHAN, M.M.; PINHO, S.Z. **Modelos não lineares [recurso eletrônico]: funções assintóticas de crescimento**. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2014, 185p.,

MORAES, V.M.B.; ARIKI, J. Importância da nutrição na criação de codornas e qualidades nutricionais do ovo e da carne de codorna. In: REUNIÃO ITINERANTE DE FITOSSANIDADE DO INSTITUTO BIOLÓGICO, 3, **Anais...**, Mogi das Cruzes, p.114-120, 2000.

MORAIS, J. *et al.* Curva de crescimento de diferentes linhagens de frango de corte caipira. **Ciência Rural**, v.45, n.10, p.1872-1878, 2015.

MÓRI, C. *et al.* Desempenho e rendimento de carcaça de quatro grupos genéticos de codornas para produção de carne. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, n.3, p.870-876, 2005.

NARINC, D. *et al.* Comparison of non-linear growth models to describe the growth in Japanese quail. **Journal of Animal and Veterinary Advances**, v.9, n.14, p.1961-1966, 2010.

NEME, R. *et al.* Curvas de crescimento e de deposição dos componentes corporais em aves de postura de diferentes linhagens. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, n.3, p.1091-1100, 2006.

OBA, A. *et al.* Características produtivas e imunológicas de frangos de corte submetidos a dietas suplementadas com cromo, criados sob diferentes condições de ambiente. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.41, n.5, p.1186-1192, 2012.

Ó, A.O. *et al.* Curva de crescimento de ovinos Santa Inês no vale do Gurgueia. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.133, n.4, p.912-922, 2012.

OLIVEIRA, H. N. **Análise genético quantitativo da curva do crescimento de fêmeas da raça Guzerá**. 1995. 73 f. Tese (Doutorado em ciências) – Faculdade de Medicina veterinária, Universidade Estadual Paulista, Ribeirão Preto.

OLIVEIRA, J.A. *et al.* **Curvas de crescimento em caprinos da raça Alpina criados no semiárido nordestino**. In: OELKE, C.A.; MORAES, G.; GALATI, R.L. (Org.). **Zootecnia: pesquisa e práticas contemporâneas**. 1ed., Guarujá: Editora Científica Digital, v.2, p.64-82, 2021.

OLIVEIRA, M.R. *et al.* Avaliação do peso de bovinos Tabapuã criados no nordeste do Brasil utilizando modelos de regressão aleatória. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.69, n.2, p.457-464, 2017.

ONDRUŠÍKOVÁ, S. *et al.* Effect of different storage times on Japanese quail egg quality characteristics. **Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences**, v.12, p.560-565, 2018.

OSEI-AMPONSAH, R. *et al.* Evaluation of models to describe temporal growth in local chickens of Ghana. **Journal of Applied Animal Science**, v.4, n.4, p.855-861, 2014.

PASTORE, S.M; OLIVEIRA, W.P.; MUNIZ, J.C.L. Panorama da coturnicultura no Brasil. **Revista Eletrônica Nutritime**, v.9, p.2041-2049, 2012.

PAULINO, P.V.R. *et al.* Deposição de tecidos e componentes químicos corporais em bovinos Nelore de diferentes classes sexuais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, n.12, p. 2516-2524, 2009.

PEROTTO, D.; CUE, R.I.; LEE, A.J. Comparison of nonlinear functions for describing the growth curve of three genotypes of dairy cattle. **Canadian Journal of Animal Science**, v.72, p.773-782, 1992.

RONDON, E.O.O.; MURAKAMI, A.E.; SAKAGUTI, E.S. Modelagem computacional para produção e pesquisa em avicultura. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, v.4, n.1, p.199-207, 2002.

RAZEE, A. *et al.* Performance of Japanese quails (*Coturnix coturnix japonica*) on floor and cage rearing system in sylhet. **Iranian Journal of Applied Animal Sciences**, v.16, n.6, p.931-936, 2016.

ROCHA-SILVA, M. *et al.* Curva de Crescimento de Codornas de Corte por meio de Modelos de Regressão não-lineares. **Veterinary Science**, v.21, n.4, 2016.

Santana, T.J.S. **Novos modelos de curvas de crescimento para bovinos de corte**. 2013. 70 f. Tese (Doutorado em Estatística e Experimentação Agropecuária) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

SAMPAIO, I.B.M. **Experimental designs and modelling techniques in the study of roughagedegradation in the rumen and growth of ruminants**. 1988. 114 f. Thesis (PhD) - University of Reading, Reading, UK.

SANDLAND, R.L. Mathematics and the growth of organisms – some historical impressions. **Mathematical Scientist**, v.8, p.11-30, 1983.

SANTOS, A.L.P. *et al.* Estudos Comparativo de três diferentes modelos não lineares para a característica ganho de peso em bovinos de corte da raça Nelore. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DAS CIÊNCIAS AGRÁRIAS, 2, **Anais...**, OINTER-PDVAGRO, 2018.

SAAR, A.G.L. *et al.* Morfometria do trato gastrintestinal de codornas de corte alimentadas com dieta a base de sorgo grão. **Enciclopédia Biosfera**, v.22, p.2288-2295, 2015.

SARMENTO, J.L.R. *et al.* Estudo da curva de crescimento de ovinos Santa Inês. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, n.2, p.435-442, 2006.

SELVAGGI, M. *et al.* Modeling growth curves in a nondescript Italian chicken breed: an opportunity to improve genetic and feeding strategies. **Journal of Poultry Science**, v.52, n.4, p.288-294, 2015.

SILVA, A.F. *et al.* Coturnicultura como alternativa para aumento de renda do pequeno produtor. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.70, n3, p.913-920, 2018.

SILVA, F.L. *et al.* Curvas de crescimento em vacas de corte de diferentes tipos biológicos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.3, p.262-271. 2011.

SILVA, N.A.M. *et al.* Seleção e classificação multivariada de modelos de crescimento não lineares para bovinos Nelore. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.63, p.364-371, 2011b.

SILVA, P.F.P. *et al.* Criação alternativa de codornas europeias em aviário móvel. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 4, p. 366-369, 2017.

SILVA, W.J. **Cúrcumura e sorgo para codornas em postura**. 2016. 56 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Instituto Federal Goiano, Rio Verde.

SOUZA, L.A. *et al.* Curvas de crescimento em bovinos da raça Indubrasil criados no Estado de Sergipe. **Revista Ciência Agronômica**, v.41, p.671-676, 2010.

SCHNUTE J.A versatile growth model with statistically stable parameters. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v.38, p.1128-1140, 1981.

TEIXEIRA, B.B. *et al.* Estimação dos componentes de variância para as características de produção e de qualidade de ovos em matrizes de codorna de corte. **Ciência Rural**, v.42, n.4, 2012.

THOLON, P.; QUEIROZ, S.A. Modelos matemáticos utilizados para descrever curvas de crescimento em aves aplicadas ao melhoramento genético animal. **Ciência Rural**, v.39, n.7, p.2261-2269, 2009.

TJØRVE, K.M.C.; TJØRVE, E. The use of Gompertz models in growth analyses, and new Gompertz-model approach: An addition to the Unified-Richards family. **PLOS ONE**, v.12, n.6, p.1-17, 2017.

VELOSO, R.C. *et al.* Crescimento de genótipos de frangos tipo caipira. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.67, n. 5, p.1361-1371, 2015.

WOOD, P.D.P. Algebraic model of the lactation curve in cattle. **Nature**, n.216, p.164-165, 1967.

ZEVIANI, W.M. *et al.* **Modelos não lineares**. In: RBRAS, 58; SEAGRO, 15, **Anais...**, Santa Maria, 2013.

ZUIDHOF, M.J. *et al.* Growth, efficiency, and yield of commercial broilers from 1957, 1978, and 2005. **Poultry Science**, v.93, p.2970-2982, 2014.

CAPÍTULO I

Curva de crescimento animal: mapeamento científico e revisão sistemática

Artigo conforme as normas da revista:
The International Journal of Animal Biosciences

Curva de crescimento animal: mapeamento científico e revisão sistemática

J.S. PEREIRA ^{a*}, S.C. SOUSA JÚNIOR ^b

^a Mestranda em Ciência Animal, Departamento de Zootecnia, Pós-Graduação em Zootecnia Tropical, Universidade Federal do Piauí - UFPI, Campus Ministro Petrônio Portela, Teresina, Piauí, Brasil.

^b Professor Adjunto, Departamento de Medicina Veterinária, Coordenação de Extensão do Curso de Medicina Veterinária, Universidade Federal do Delta do Paranaíba - UFDPAr, Campus Ministro Reis Velloso, Parnaíba, Piauí, Brasil.

*Autor correspondente: J.S. Pereira; E-mail: josylycesylva@gmail.com

RESUMO

Pesquisas que relatem e quantifiquem o conhecimento descrito sobre produção animal, curva de crescimento animal e utilização de modelos não lineares representam ferramentas de grande importância econômica e metodológica. Objetivou-se realizar uma busca da produção científica e tecnológica a fim de se montar um panorama prospectivo dos avanços científicos sobre curva de crescimento animal e modelos não lineares com destaque para aves. Foi desenvolvido durante os meses dezembro de 2021 a dezembro de 2022. O estudo prospectivo científico utilizou-se as bases Web of Science, Scopus, Derwent, KCL, RISC e SciELO com uso de descritores específicos. Utilizando as bases Web of Science, Derwent, KCL, RISC, SciELO e Scopus com o termo “quail” and “growth” registrou-se o total de 3.163 artigos indexados respectivamente. A evolução por ano das publicações indexadas na base de Web of Science e Scopus com os descritores “quail” and “growth” and “curve” demonstrou uma alta significativa no ano de 2017 e 2018, de acordo com o número de trabalhos indexados nas duas bases utilizadas. De acordo com os resultados, é notório que há um número considerável de publicações sobre curva de crescimento animal, porém ainda há poucos trabalhos publicados e indexados, demonstrando o potencial para estudos utilizando a temática e método estatístico. Assim como trabalhos voltados para as aves que dentro do intervalo de busca dentro das bases.

Palavras-chave: aves, descritores, melhoramento genético, modelos não lineares, produção animal

Animal growth curve: scientific mapping and systematic review

ABSTRACT

Researches that report and quantify the knowledge described about animal production, animal growth curve and use of non-linear models represent tools of great economic and methodological importance. The objective was to carry out a search for scientific and technological production in order to assemble a prospective overview of scientific advances on animal growth curves and non-linear models with emphasis on birds. It was developed during the months of December 2021 to December 2022. The prospective scientific study used the Web of Science, Scopus, Derwent, KCL, RISC and SciELO databases with the use of specific descriptors. Using the Web of Science, Derwent, KCL, RISC, SciELO and Scopus databases with the term "quail" and "growth", a total of 3,163 indexed articles were registered, respectively. The evolution per year of publications indexed in the Web of Science and Scopus databases with the descriptors "quail" and "growth" and "curve" showed a significant increase in 2017 and 2018, according to the number of publications works indexed in the two databases used. According to the results, it is clear that there is a considerable number of publications on the animal growth curve, but there are still few published and indexed works, demonstrating the potential for studies using the theme and statistical method. As well as works aimed at birds within the search range within the bases.

Key words: animal production, descriptors, genetic improvement, nonlinear models, poultry

INTRODUÇÃO

O crescimento é um processo relevante para a produção animal, no qual o entendimento e o controle de como esse fenômeno ocorre, pode ser usado como auxílio no desenvolvimento de pesquisas, como por exemplo, para que o manejo nutricional dos animais seja mais eficiente, na determinação do tempo ideal para o abate do animal, além de proporcionar subsídios a programas de seleção animal, visando o melhoramento de características de crescimento relacionadas às diversas raças (LOPES *et al.*, 2011).

Atualmente, a cadeia produtiva de aves de corte evidencia-se no agronegócio brasileiro. Esse aumento da produção advém do uso intensivo de tecnologias que envolvem nutrição, imunologia, manejo das aves e melhoramento genético (BASSINSS; SILVA, 2017).

Dessa forma, pesquisas que relatem e quantifiquem o conhecimento descrito sobre produção animal, curva de crescimento animal e utilização de modelos não lineares representam ferramentas de grande importância econômica

e metodológica, já que se constituem como meios de disponibilização de informações (ALVARENGA; FREITAS; MEDEIROS, 2015), sendo a prospecção uma importante ferramenta utilizada por pesquisadores e empresas na busca por novos projetos e estudos (BUAINAN *et al.*, 2005).

O incentivo a pesquisas com análises de curvas de crescimento animal e comparações com diferentes modelos, tem considerável importância e incentivo, pois podem influenciar de forma significativa tanto na produção animal como no melhoramento genético animal, que estão em constante evolução com relação a metodologias de análises das práticas de manejo e resultados de produtividades. Além de ser subsidio para outros estudos, por se saber que pesquisas com os descritores em bases permite a delimitação e explanação a respeito da curva de crescimento animal e correlações do conhecimento.

Diante do exposto, objetivou-se realizar uma busca da produção científica e tecnológica a fim de se montar um panorama prospectivo dos avanços científicos sobre curva de crescimento animal e modelos não lineares com destaque para aves.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido durante os meses dezembro de 2021 a janeiro de 2022, ou seja, nos períodos entre 05/12/2021 a 03/02/2022. O estudo prospectivo científico utilizou-se as bases Web of Science, Scopus, Derwent, Korean Journal Database- KJ, Russian Science Citation Index- RISC e SciELO. Os descritores *“quail” and “growth”*, *“quail” and “growth” and “curve”* e *“quail” and “growth” and “curve” and “Japanese” and “non-linear model”* presentes nos campos de pesquisa “título” e/ou “resumo” e “palavras-chaves” de artigos foram utilizados.

A pesquisa nas bases de dados de artigos científicos foi realizada com definição de prazo dos últimos dez anos (2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021 e 2022), sendo consultados, portanto, todos os artigos científicos já disponíveis para consulta até a data da realização da referida pesquisa. Os termos compostos foram pesquisados entre aspas para garantir uma maior precisão na busca e os termos em inglês foram utilizados para as bases internacionais, enquanto que os termos em português para base nacional.

Os resultados dos artigos foram organizados por ano de publicação, países e área de conhecimento. Os dados foram tabulados de forma individual, conforme as categorias de análises (país, área, espécies e ano) e organizadas em tabelas e gráficos no *Microsoft Excel*® (2019), visando a caracterização, distribuição e avanço das publicações até o momento.

Optou-se por utilizar para seleção os dados bibliográficos, a base *Web of Science* (WoS) e Scopus para elaboração dos gráficos. Devido ao grande número de trabalhos científicos e por ser a base que dá origem ao fator de impacto dos periódicos (JCR - *Journal Citation Report*), essas bases foram escolhidas.

A análise bibliométrica seguiu a preconizada por Welsh (2015): definição de buscas, consulta à base de dados (Web of Science), exportação em arquivo RIS, refinamento da pesquisa das principais interações com os descritores “*Animal Growth curve*” e “*Animal Growth curve*” AND “*birds*”, utilizando software VOSviewer, versão 1.6.15 (ECK; WALTMAN, 2010), depois calculou-se os Scores para cada ocorrência, selecionando os termos mais relevantes.

RESULTADOS

Mapeamento e Bibliometria

Utilizando as bases Web of Science, Derwent, KCL, RISC, SciELO e Scopus com o termo “*quail*” and “*growth*” registrou-se o total de 3.163 artigos indexados respectivamente (Tabela 1). O maior número de artigos envolvendo “*quail*” and “*growth*” foi indexado na Web of Science (1.664) e SCOPUS (1.108). Na área de produção animal, o uso de modelos voltados para curva de crescimento animal é comum, para descrever essas funções biológicas, o que de fato é bem útil, principalmente na área de melhoramento genético, em geral nas pesquisas.

Dados de crescimento mensurados em um mesmo indivíduo, do nascimento até a fase adulta, descrevem uma trajetória, chamada de curva de crescimento animal (SANTORO *et al.*, 2005). O conhecimento das curvas de crescimento de um animal se faz necessário, pois fornece informações muito úteis para o cultivo e manejo, além de ter grande importância biológica. A curva descrevendo uma sequência de medidas de determinada característica de alguma espécie ou indivíduo em função do tempo, geralmente peso, altura ou diâmetro, é chamada de curva de crescimento (FERNANDES *et al.*, 2012).

O crescimento é um processo fisiológico, o qual começa na etapa pré-natal e termina quando o organismo atinge o peso adulto e a conformação característica da espécie. O nível de desenvolvimento das dimensões atingido é próprio de cada espécie/clonagem animal e, que depende tanto da espécie, como também da raça. Na pecuária, o termo de crescimento é utilizado constantemente como um período em que o animal aumenta de tamanho e ganha peso (FERNANDES *et al.*, 2013).

Dentre os descritores pesquisados “quail” and “growth” foi o que apresentou maior número de artigos, com 1.664 para Web of Science e 1.108 para SCOPUS, comparado a “quail” AND “growth” and “curve” (Web of Science: 79 e SCOPUS: 69).

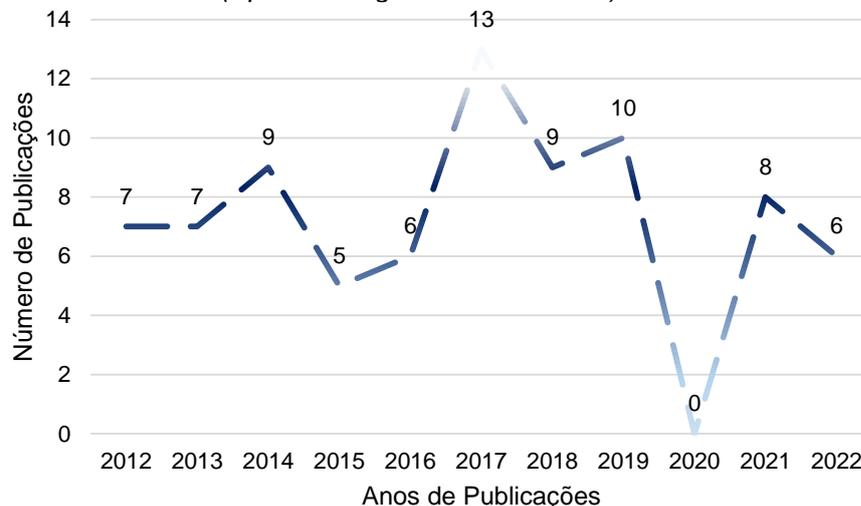
Tabela 1. Número de artigos indexados por bases científicas envolvendo diferentes descritores

DESCRITORES	Web of Science	Derwent	KCI	RISC	SciELO	Scopus	TOTAL
("quail" and "growth")	1.664	220	15	0	156	1.108	3.163
("quail" and "growth" and "curve")	79	1	1	0	19	69	169
("quail" and "growth" and "curve" and "Japanese" and "non-linear model")	8	0	0	0	2	9	19

Fonte: elaborado pelos autores (2022)

A evolução por ano das publicações indexadas nas bases de artigos usadas no presente trabalho com o descritor (“quail” and “growth” and “curve”) é apresentada na (Figura 1), após filtragem por área de interesse. Pode ser observado um destaque em publicações indexadas na base de dados nos anos 2017 (13) e 2019 (10), e uma queda no ano de 2020 que não apresenta publicações. Porém nos últimos anos as publicações voltadas para temática retornaram.

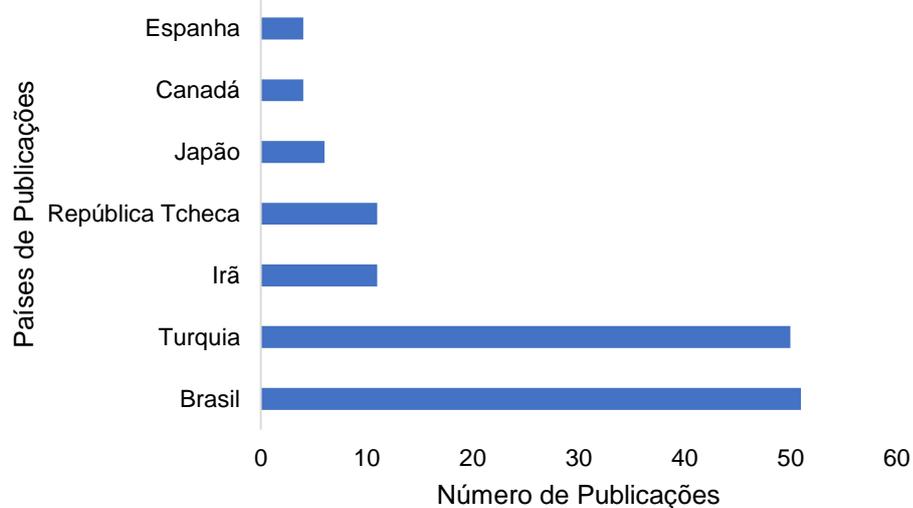
Figura 1. Número de publicações anuais dentro do intervalo de 2012 à 2022 nas bases indexadas pesquisadas com os descritores (“quail” and “growth” and “curve”).



Fonte: elaborado pelos autores (2022)

Os Brasil é o país com o maior número de artigos indexados na base de dados Web of Science e SCOPUS, com 51 registros, representando 33% do total de publicações dentro dos últimos dez anos (Figura 2), seguido pelo Turquia com 50 artigos indexados (32%), Irã e República Tcheca cada uma com média de cinco artigos indexados (7%). Os dados mostram que, o Brasil é um grande produtor animal, as publicações voltadas para curva de crescimento apresentam um número de destaque comparando com outras publicações de interesse voltado para produção animal. A produção animal brasileira tem sido amplamente destacada em publicações internacionais, sendo reconhecida pela qualidade e avanços tecnológicos na área. O Brasil tem focado muito na produção de alimentos de qualidade, bem como na produção de alimentos com melhor equilíbrio nutricional e menor impacto ambiental. Com isso, a pesquisa voltada para a produção animal tem se tornado cada vez mais importante e relevante.

Figura 2. Distribuição das publicações indexadas por país na base Web of Science e Scopus com os descritores (*"quail" and "growth" and "curve"*), de 2012 a 2022.



Fonte: elaborado pelos autores (2022).

Ao verificar as principais áreas a qual os artigos foram indexados utilizando o descritor (*"quail" and "growth" and "curve"*) (Tabela 2), observa-se maior participação de estudos ligados à área de Agricultura com 70 registros. Assim, observa-se que os artigos indexados com o descritor (*"quail" and "growth" and "curve"*) são majoritariamente de áreas voltadas à agricultura, com destaque para Ciências Agrárias. A pesquisa indica que os artigos abordam principalmente aspectos relacionados ao crescimento e à produção de codornas, bem como à maneira como

as condições ambientais afetam a qualidade e a quantidade de seus ovos. Além disso, também se aborda o uso de suplementos nutricionais e sua influência na curva de crescimento das aves.

Zoologia e Hereditariedade Genética também apresenta número expressivo, com 42 e 41 registros respectivamente. Biologia do Desenvolvimento, Fisiologia e Ciências Veterinárias apresentaram menor número de pesquisas registradas. Para compreensão de problemas reais o estudo e o desenvolvimento da área de modelagem de crescimento através de equações diferenciais tornou-se de suma importância, levando-se em consideração o uso dessas equações as quais foram estendidas, ainda, para diversas áreas da Ciência, permitindo sua aplicação nas mais diferenciadas áreas de conhecimento (SANTOS, 2019).

Tabela 2. Distribuição das publicações indexadas por áreas de pesquisa nas bases Web of Science SCOPUS com os descritores ("*quail*" and "*growth*" and "*curve*"), de 2012 a 2022.

ÁREA DE PESQUISA	REGISTROS	(%) de 85
Agricultura	70	82%
Zoologia	42	49%
Hereditariedade Genética	41	48%
Biologia do Desenvolvimento	34	40%
Fisiologia	34	40%
Ciências Veterinárias	34	40%

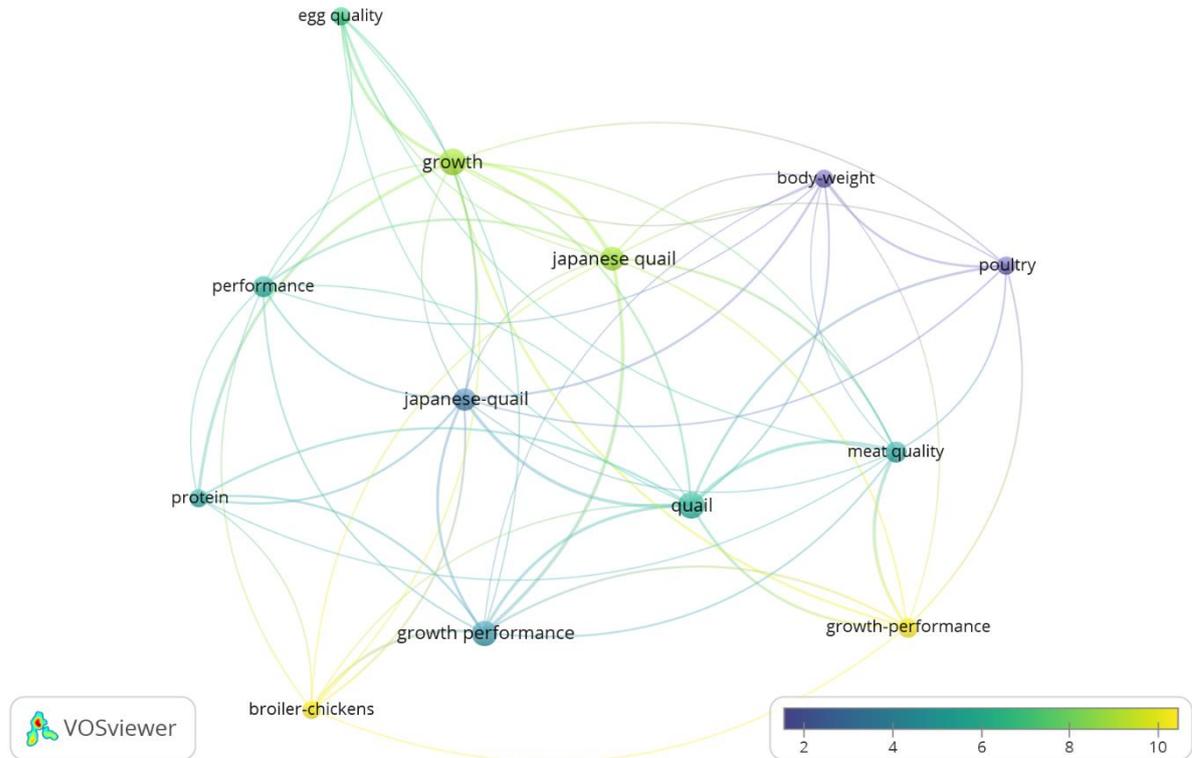
Fonte: elaborado pelos autores (2022)

Utilizamos todos os descritores e verificamos a maior frequência, as palavras mais centralizadas do primeiro cluster (amarela) "*growth*", e que estão representadas por tamanhos maiores são as principais palavras-chaves e as mais citadas, evidenciando a diversidade de conexões entre estes termos (Figura 3). É notório que o descritor "*growth*" e "*japanese quail*" está diretamente relacionado as palavras-chaves. A cor amarela indica maior densidade, seguida pela verde e azul (Figura 3). Tem se como destaque, a curva de crescimento como foco principal das discussões no período analisado.

A partir dos resultados desta análise, podemos concluir que os termos mais frequentes relacionados ao crescimento de codornas japonesas foram "*growth*", "*japanese quail*" e "*performance*". Estes termos foram os principais descritores utilizados para discutir os resultados de experimentos de crescimento de codornas japonesas. Também foi possível identificar tópicos como "alimentação", "nutrição" e "ambiente", que são fatores importantes para o crescimento de codornas japonesas.

Além disso, outros temas relacionados ao crescimento de codornas japonesas, como “genética”, “estresse” e “doenças”, também foram identificados como importantes.

Figura 3. Mapeamento de termos relevantes relacionados a “*Animal Growth curve*”.



Fonte: elaborado pelos autores (2022), com dados da Base Web of Science, com o aporte do software VOSviewer para a geração do mapa

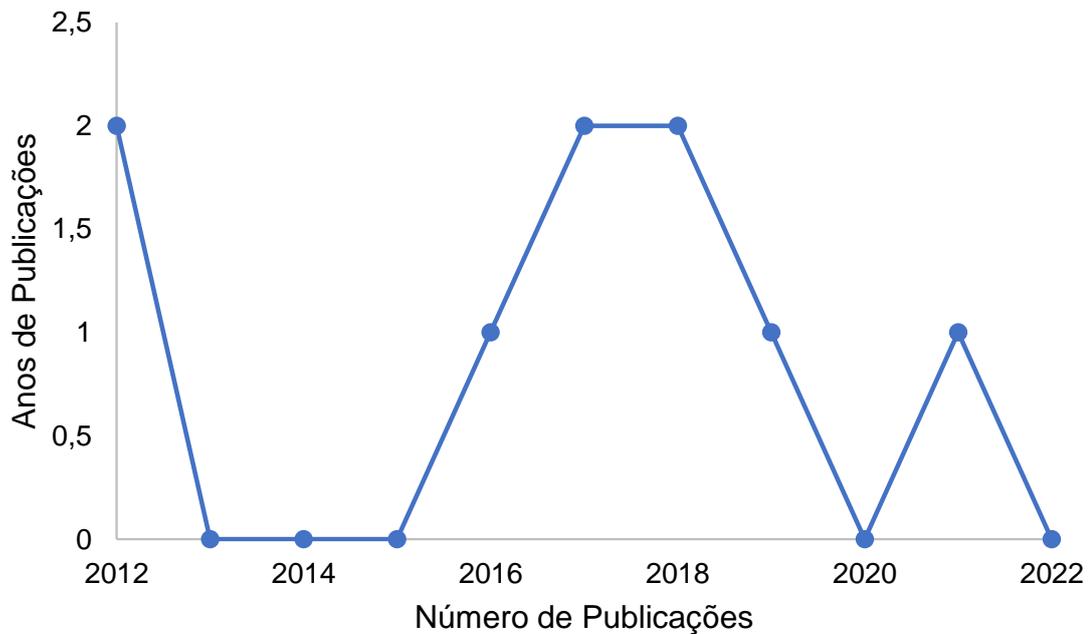
A evolução por ano das publicações indexadas na base de Web of Science e Scopus com os descritores (“*quail*” and “*growth*” and “*curve*” and “*Japanese*” and “*non-linear model*”) está apresentada na Figura 4. As publicações reportaram uma alta significativa no ano de 2012, 2017 e 2018, como mostra o número de trabalhos indexados nas duas bases utilizadas. Estes compêndios indicaram um declínio nos demais anos dentro do período analisado

No entanto, o número de publicações diminuiu em 2019. A Figura 4 também mostra que as publicações indexadas na Web of Science superaram as publicações indexadas, com destaque para os anos 2017 e 2018. Desta forma, a falta de indexação das publicações em bases de dados, acaba por restringir o acesso ao conteúdo científico, o que dificulta a disseminação e validação desses estudos. Assim, é possível entender a necessidade de se indexar as revistas científicas, para que os artigos possam ter maior acessibilidade e visibilidade.

Em decorrência da evolução tecnológica vivenciada nas últimas décadas, os pacotes computacionais para análises estatísticas com grau variado de complexidade

se encontram mais acessíveis e dispõem de uma ampla gama de recursos. Como resultado desse processo, os softwares estatísticos em uso na área e saberes da Ciência Animal tem propiciado o uso da modelagem matemática voltada para descrever o crescimento das aves (BRUSAMARELO, 2020).

Figura 4. Evolução anual de artigos indexados na Web of Science e Scopus com os indexadores “quail” and “growth” and “curve” and “Japanese” and “non-linear model”, de 2012 a 2022.

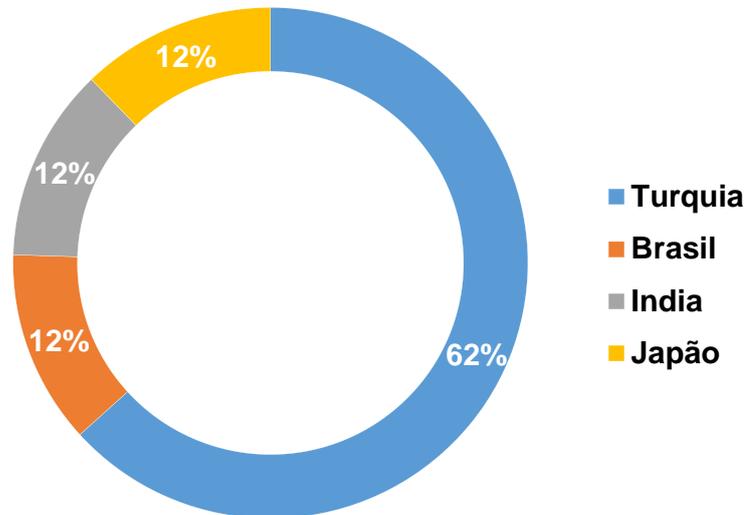


Fonte: elaborado pelos autores (2022)

Para o descritor “quail” and “growth” and “curve” and “Japanese” and “non-linear model”, a Turquia é o país com maior número de artigos indexados na base de artigos Web of Science e Scopus, representando 62% do total de publicações filtradas com uso do referido descritor. O Brasil, Índia e Japão estão como segundo mais representado com 12% dos trabalhos indexados, como apresentado no (Figura 5).

A avicultura refere-se a um importante setor do agronegócio no Brasil. Nos últimos anos, inúmeras modificações ocorreram no setor avícola, tais como o uso das tecnologias e da adoção de ferramentas computacionais com grau variado de complexidade. Registros de estudos de crescimento animal por meio de modelos matemáticos foram ainda descritos no século passado (XX) (BRUSAMARELO, 2020).

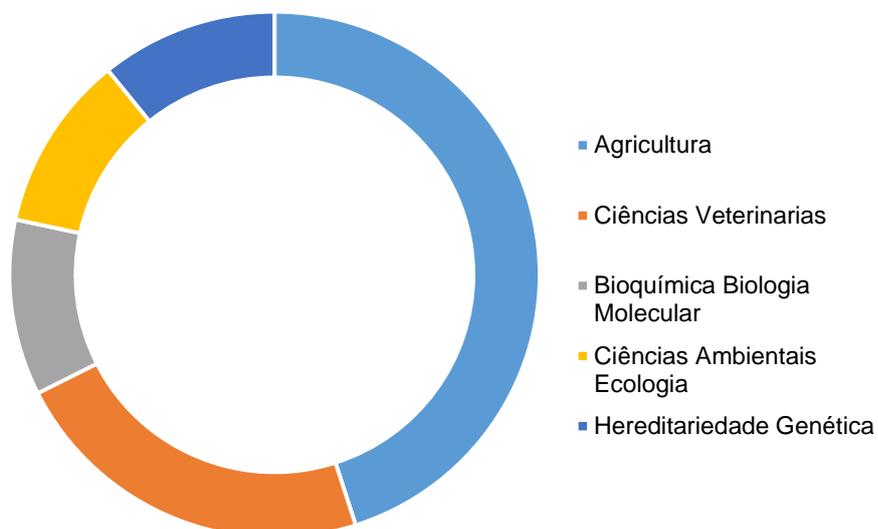
Figura 5. Distribuição das publicações indexadas por país na base Web of Science e Scopus com o descritor “quail” and “growth” and “curve” and “Japanese” and “non-linear model”, de 2012 a 2022.



Fonte: elaborado pelos autores (2022)

Quando verificado as principais áreas a qual os artigos foram indexados utilizando o descritor “quail” and “growth” and “curve” and “Japanese” and “non-linear model” é identificado a maior participação em estudos ligados à área Agricultura e Ciências Veterinárias, com 6 registros (Figura 6). As curvas de crescimento dos animais são estudadas por meio do ajuste de modelos não lineares, pois permite sintetizar informações precisas sobre ganho de peso dos animais e prognósticos futuros para animais do mesmo grupo racial sob a mesma situação ambiental (TEIXEIRA *et al.*, 2012).

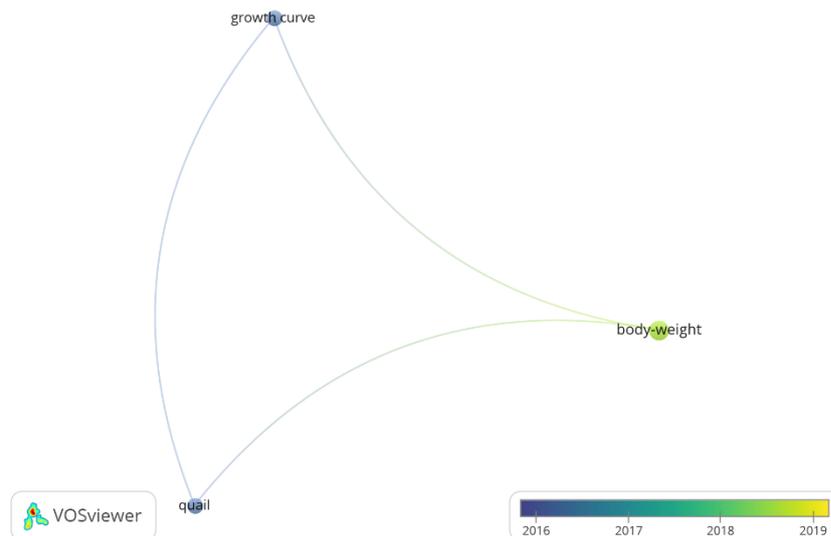
Figura 6. Distribuição das publicações indexadas por áreas de pesquisa nas bases Web of Science e Scopus com o descritor (“quail” and “growth” and “curve” and “Japanese” and “non-linear model”), de 2012 a 2022.



Fonte: elaborado pelos autores (2022)

Dentre as redes de interações correlacionadas, os estudos voltados para curva de crescimento de aves, destaca-se por ser o objeto de estudo geral do presente trabalho (Figura 7), haja visto que contribuíram com os estudos acerca da conformidade dos modelos não lineares utilizados para demonstração das curvas de crescimento. Como ferramenta a modelagem se aplica para o uso do aperfeiçoamento, desempenho e compreensão da veracidade dos sistemas. Utilizando-se estes modelos como representações da realidade, constituindo-se no apoio em várias áreas do ensino, da pesquisa e da extensão, citada, também, como uma ferramenta de alta utilização e de grande desempenho, além de um baixo custo (Santos, 2019).

Figura 7. Mapeamento de termos relevantes relacionados ao termo (“quail” and “growth” and “curve” and “Japanese” and “non-linear model”), em trabalhos de 2012 a 2021.



Fonte: elaborado pelos autores (2022), com dados da base Web of Science, e aporte do software VOSviewer para geração do mapa

Alguns autores falam da importância dos estudos com curvas de crescimento animal e o uso de modelos não-lineares, como instrumento para estudar e classificar o desenvolvimento de animais de populações de aves (SANTOS et al., 2012; GURAN et al., 2012; MZI et al., 2016; DASH et al., 2018 e KAPLAN & GURCAN, 2018) estudos filtrados por áreas de interesse dentro do intervalo de 2012 à 2022, com uso dos descritores (“quail” and “growth” and “curve” and “Japanese” and “non-linear model”) (Tabela 3). Assim como a evolução de ganho de peso, nos diferentes dias de idade, utilizando do método como ferramenta para seleção dos melhores animais com interesse produtivo, para finalidade econômica dentro de uma população.

Os trabalhos publicados referem-se principalmente à modelagem de crescimento de codornas japonesas, destacando-se a modelagem não linear. O tema foi abordado como forma de entender melhor a dinâmica das populações de codornas japonesas e avaliar seu desempenho na produção de ovos e carne. Estudos foram realizados abordando a influência de fatores como a raça, a idade e o tamanho da população na curva de crescimento. A maioria dos trabalhos focou-se também na comparação de modelos de crescimento tradicionais com modelos não lineares, como o modelo de crescimento logístico. Além disso, também foram realizados estudos que buscaram determinar o melhor modelo para se estimar o desempenho da produção de codornas.

Tabela 3. Trabalhos resultante das buscas com uso do descritor (“quail” and “growth” and “curve” and “Japanese” and “non-linear model”), com filtro de acordo com as áreas de interesse nas bases Web of Science e Scopus, entre 2012 e 2022.

Nº DE ANIMAIS	PAÍS	REFERÊNCIA
144 (codornas de corte) e 144 (codornas de postura)	Brasil	SANTOS et al., 2012
102 (codornas fêmeas) e 40 (codornas macho)	Turquia	GURCAN et al., 2012
499 codornas	Turquia	FIRAT et al., 2016
268 (codornas pretas) e 704 (codornas brancas)	Índia	DASH et al., 2018
372 (M) e 339 (F)	Turquia	KAPLANA & GURCAN, 2018

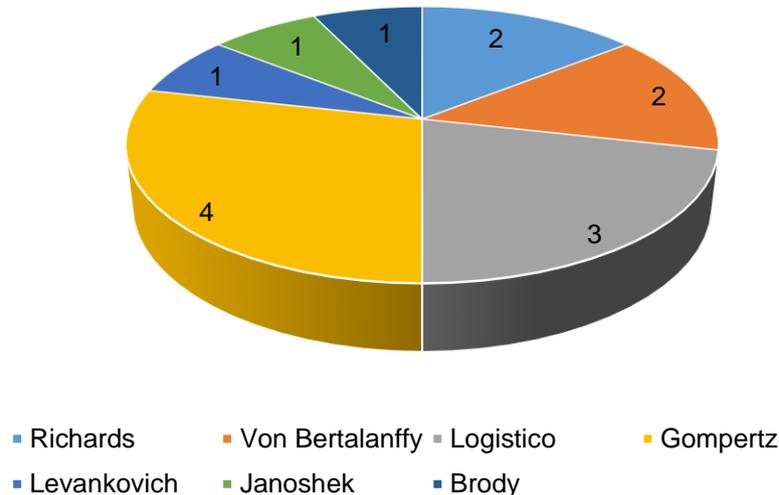
Fonte: elaborado pelos autores (2022)

Nos trabalhos filtrados e em todos os existentes que não estão indexados nas plataformas, usam modelos consistem em funções que aceitam, com base na realidade do crescimento biológico de um animal, que a variável dependente tem uma estimativa valor assintótico quando a variável independente está na infinidade (NARINC *et al.*, 2017).

Ao analisar os trabalhos resultantes das buscas nas bases Web of Science e Scopus e filtragem por áreas de interesse (Agricultura e Ciências Veterinárias,) e cobrindo os anos de 2012 à 2022, foi identificado que Gompertz e Logística foram os modelos de crescimento mais utilizados nas publicações indexadas encontradas em buscas, com uso do descritor “quail” and “growth” and “curve” and “Japanese” and “non-linear model”, tem sido constatado como os mais amplamente usados para modelar o crescimento nas aves (Figura 8). Outros modelos também foram utilizados

em alguns dos trabalhos indexados encontrados de acordo com a busca, os modelos Brody, Levankovich e Janoschek.

Figura 8. Modelos não lineares identificados nos trabalhos indexados nas bases Web of Science e Scopus, através do uso do descritor (“quail” and “growth” and “curve” and “Japanese” and “non-linear model”), após filtro por área de interesse no intervalo de 2012 à 2022.



Fonte: elaborado pelos autores (2022)

Os trabalhos fizeram uso dos modelos, para realizar comparações utilizando-se os seguintes critérios para a escolha do modelo que melhor se encaixa na curva de crescimento: coeficiente de determinação (R^2), coeficiente de determinação ajustado (adj. R^2), erro quadrático médio (MSE), critério de informação de Akaike (AIC) e critério de informação bayesiano (BIC) usados para determinar o melhor modelo de crescimento.

Na seleção de modelos consideram-se como premissas primárias o estabelecimento do propósito do modelo; a determinação da melhor combinação de equações empíricas e teóricas para representação das funções fisiológicas; a disponibilidade de banco de dados, informações encontradas a campo; e os benefícios e riscos associados ao uso do modelo na produção animal (TEDESCHI *et al.*, 2005)

Os modelos foram usados para investigar a descrição da curva de crescimento dos critérios de ajuste. O peso assintótico, o peso corporal inicial, a taxa de crescimento instantâneo, o parâmetro shape, a idade e o peso no ponto de inflexão foram utilizados como traços estudados. A análise da curva de crescimento permite decompor a variância fenotípica identificando variações decorrentes de fatores fixos e aleatórios, principalmente a variância genética aditiva, variância de ambiente e a

variância residual, considerando as diferentes classes de idade, as quais caracterizam as fases do desenvolvimento corporal (SOUSA JÚNIOR *et al.*, 2010).

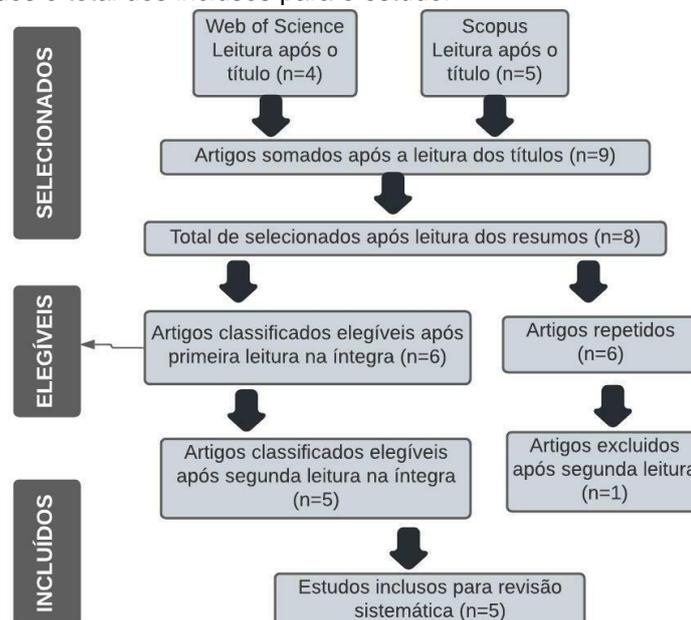
Os modelos de curva de crescimento fornecem informações úteis sobre o manejo e as condições de saúde, idade na maturidade sexual, idade adequada do abate e os efeitos dos estudos de melhoramento genético (HAQANI, 2021).

Revisão Sistemática

A consulta e levantamento bibliográfico foi realizada por meio das bases de dados de relevância para produção científica no Brasil: Web of Science e Scopus. Toda a busca foi realizada durante o mês de dezembro 2021 e janeiro de 2022, com uso de descritor específico: “quail” and “growth” and “curve” and “Japanese” and “non-linear model”. Com o resultado da consulta se teve a recuperação de 6 publicações na base da Web of Science e 11 da Scopus.

Em sequência a leitura dos títulos dos 17 artigos selecionados, foram excluídos 8 artigos por não atenderem a pelo menos dois dos critérios estabelecidos. Os 9 artigos selecionados, tiveram seus textos completos analisados e para leitura do resumo, um artigo foi excluído por não atender pelo menos 2 dos critérios estabelecidos. Dos oito artigos selecionados para leitura do resumo, sei estavam duplicados, entre as duas bases de buscas utilizadas. Contudo, apenas cinco publicações constituíram a amostra final, conforme detalhado na Figura 9, que apresenta o Diagrama do Prisma.

Figura 9. Fluxograma baseado no modelo PRISMA com os resultados da seleção dos artigos por grupo de base de dados e total dos inclusos para o estudo.



Fonte: adaptado e elaborado pelos autores (2022)

Dentre os artigos inicialmente identificados, nove foram selecionados, dos quais apenas cinco foram incluídos para serem analisados integralmente. Na Tabela 4 apresenta características dos estudos conforme anos de publicação atualizado, título, periódico e autores.

Tabela 4. Estudos inclusos para revisão sistemática

TÍTULO DO ARTIGO	PERIÓDICO	ANO	AUTORES
Desenvolvimento corporal e testicular em machos de codorna de corte e de postura de 25 a 360 dias	Pesquisa veterinária brasileira	2012	SANTOS et al
Determination of Body Weight-Age Relationship by Non-Linear Models INS Japanese Quail	Journal os Animal and Veterinary Advances	2012	GURCAN et al.
Bayesian Analysis for the Comparison of Nonlinear Regression Model Parameters: an Application to the Growth of Japanese Quail	Revista Brasileira de Ciências Avícola	2016	FIRAT et al
Effect of plumage colour and estimation of variance components of bi-weekly growth traits in Japanese quail (<i>Coturnix coturnix japonica</i>)	The Indian Journal of animal sciences	2018	DASH et al
Comparison of growth curves using non-linear regression function in Japanese quail	Journal of Applied Animal Research	2018	KAPLANA & GURCAN

Fonte: elaborado pelos autores (2022)

Somente um estudo encontrado durante a pesquisa e que foi realizado na Turquia e na Colômbia, em 2018, utilizou em seus trabalhos os modelos não linear tradicionais em conjunto, sugerindo assim que os modelos com uso de critérios e parâmetros adequado para cada ajuste, podem estar utilizando para proporcionar uma maior precisão na estimativa da curva de crescimento (GALEANO-VASCO *et al.*, 2013, 2014).

Conseqüentemente emergiram três categorias para melhor proporcionar a análise do material estudado, assim denominadas como: modelos não linear, parâmetros usados e critérios para o melhor encaixe da curva.

Modelos não lineares

Estes modelos permitem a comparação da curva de crescimento de diferentes grupos genéticos, possibilitando avaliar as diferenças no crescimento animal causadas pelo sexo, gerenciamento o ambiente de criação. Também fornecem informações essenciais para orientar a preservação sustentável de animais em risco

de extinção, como a estimativa de requisitos nutricionais e crescimento (HRUBY *et al.*, 1994; SELVAGGI *et al.*, 2015). Dada esta comprovação vários estudos pesquisados apresentam dados de análises de crescimento animal, com uso de modelos não lineares para aves.

SANTOS *et al.* (2012) por exemplo, em seu trabalho com uso de 144 codornas de corte e 144 codornas de postura, acompanhadas desde o nascimento até 360 dias de idade, obteve dados como peso corporal e o peso relativo dos testículos, o comprimento, a largura e o peso dos testículos. O peso vivo foram superiores nas codornas de corte, quando comparados as de postura, apresentaram a mesma taxa de maturação evidenciada pelo modelo não-linear de Gompertz, mais especificadamente o modelo com restrições de igualdade em um parâmetro B e k.

GURCAN *et al.* (2012) utilizando 102 codornas fêmeas e 40 codornas macho em trabalho desenvolvido na Turquia, utilizou os modelos Exponencial Negativo, Brody, Gompertz, Logístico e Bertalanffy para determinar as características de crescimento das aves. Foram avaliados animais com 56 dias de idade, coletando 8 registros semanais de peso corporal dos animais.

Na Turquia, foi avaliado o crescimento de 499 codornas, com medições de peso corporal registradas semanalmente com uso dos modelos não lineares usuais (Richards, Gompertz e Logistics), a priori normal foi assumida para todos os parâmetros da curva de crescimento dos modelos assumindo a priori não informativa de Jeffreys para variância residual, modelos comparados com base na medida Bayesiana de ajuste, critério de informação de desvio (DIC) e apresentou como melhor ajuste dos modelos Gompertz e Richards (FIRAT *et al.*, 2016).

Em 2018, 268 codornas pretas e 704 codornas macho na Turquia, o peso corporal foi registrado às 0, 2, 4, 6, 8 e 10 semanas de idade e as estimativas dos parâmetros genéticos foram obtidas separadamente. A análise da curva de crescimento de Gompertz auxiliou na identificação do ponto de inflexão e dos parâmetros da curva (DASH *et al.*, 2018).

Parâmetros usados

Nas publicações encontradas é apresentado diferentes parâmetros para análise a evolução de ganho de peso das aves. A modelagem do desempenho de crescimento em algumas aves, como em galinhas poedeiras é um processo elaborado devido ao uso de parâmetros difíceis de interpretar a partir de uma perspectiva

biológica, e a dificuldade de prever os eventos que são influenciados pela variação das observações no tempo (AGGREY, 2002, 2009; GALEANO-VASCO *et al.*, 2013).

Para análise do peso corporal de 499 codornas modelando com funções não lineares, foi utilizado os parâmetros peso corporal, peso corporal inicial, constante biológica, índice de vencimento, parâmetro da curva de crescimento estimados usando a abordagem clássica (NLS), bem como o método bayesiano, permitindo estimar a distribuição posterior conjunta dos parâmetros da curva de crescimento (FIRAT *et al.*, 2016).

Segundo Haqani (2021), as diferenças significativas podem ser observadas no peso corporal de todas as gerações de codornas japonesas (*Coturnix japonica*), desde a eclosão até as 16 semanas de idade. As correlações de características relacionadas ao crescimento variam em cada traço. Isso de acordo com análise com base nos parâmetros: peso corporal em uma determinada idade, duração do tempo, peso assintótico, das constantes relacionadas ao peso corporal inicial e à taxa de crescimento instantâneo, respectivamente; do parâmetro de forma nos modelos, da idade no ponto de inflexão, e d o peso no ponto de inflexão.

O peso assintótico, a integração constante, relacionada ao peso inicial do animal, e os parâmetros de taxas de maturação dos modelos Gompertz, Logístico e Von Bertalanffy foram estimados e ajustados, para identificar o modelo mais adequado e descrever o crescimento de galinhas naturalizadas, no estado do Piauí, Brasil (NETO *et al.*, 2020).

Avaliadores da qualidade de ajuste para curva de crescimento animal

Estudo com 711 codornas na Turquia, os critérios de ajuste para comparar as funções estudadas que explicam o crescimento de codornas foram o Coeficiente de Determinação Ajustado (R^2), Coeficiente de Determinação Ajustado (R^2_{adj}), Erro quadrático médio, Critério de Informação de Akaike (AIC) e Schwarz Bayesian Information Criterion, sendo determinado que não houve paralelismo no crescimento de fêmeas e machos e não houve diferença entre os sexos em termos de peso nas primeiras semanas (KAPLAN & GURCAN, 2018).

Em investigação realizada com codornas pretas (268) e brancas (704), o peso corporal foi uma única variável medida em diferentes pontos de tempo teve uma baixa repetibilidade, o que tornou óbvio que as variáveis características (BWT) utilizadas não eram geneticamente idênticas. As curvas de crescimento foram semelhantes para

ambas as variedades de codorna. A análise da curva de crescimento de Gompertz auxiliou na identificação do ponto de inflexão e dos parâmetros da curva, que podem ser utilizados para o desenvolvimento de futuras estratégias de seleção com base nos parâmetros superiores da curva individual (DASH et al., 2018).

Para avaliar a precisão das previsões do modelo da curva de crescimento de codornas japonesas (*Coturnix japonica*), se utilizou do coeficiente ajustado de determinação (R^2_{aj}), os critérios de informação de Akaike (AIC), os critérios de informação de Schwarz (BIC) e o raiz do erro do quadrático médio (RMSE). O melhor ajuste para os modelos, de acordo com os critérios de qualidade de ajuste foi o modelo Richards com melhor ajuste para aves (HAQANI et al., 2021).

Devido à diferença nas condições de crescimento entre aves, os valores dos parâmetros da curva de crescimento foram diferentes entre as espécies (KUCUKONDER et al., 2019).

CONCLUSÃO

De acordo com os resultados discutidos, é notório que há um número considerável de publicações sobre "*quail*" and "*growth*" and "*curve*", porém ainda há poucos trabalhos publicados e indexados, demonstrando o potencial para estudos utilizando a temática e método estatístico. Assim como trabalhos voltados para as aves que dentro do intervalo de busca dentro das bases, demonstrou inconstância entres os anos com relação ao número de trabalhos publicados, mas a importância do trabalho usando o método voltado para as aves apresentou sua importância.

O Brasil demonstrou grande índice de publicações com ambos descritores utilizados no trabalho, sendo favorável com o potencial agrário e pecuário do país. Porém, nos anos atuais, faz-se necessário incentivos a pesquisas voltadas para curva de crescimento animal, voltadas para aves.

Tal se sabe da importância do método estatístico de interesse econômico, genético e de produção para todos os níveis de produtores, esta revisão e bibliometria é de relevância especial para pesquisadores que trabalham com produção animal e diretamente para as aves de interesse econômico. Demonstrando assim que é necessário incentivo maior em desenvolver pesquisas voltadas para essa temática, afim de contribuir para comunicação entre academia, empresas, produtores e demais públicos interessados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGGREY, S.E. Comparação de três modelos de regressão não linear e spline para descrever curvas de crescimento de frango. **Aveia**, v.81, p.1782-1788, 2002.
- BRUSAMARELO, E. *et al.* Modelos de crescimento de Gompertz na avicultura: algumas considerações. **Research Society and Development**, v.9, p.1-8, 2020.
- CARATACHEA, A.J. Descripción de la curva de crecimiento de pavos locales usando modelos no lineales. **Revista MVZ Córdoba**, v.24, p.7104-7107, 2019.
- DASH, S. K; *et al.* Effect of plumage colour and estimation of variance componentes of bi-weekly growth traits in Japanese quail (*Coturnix coturnix japônica*). **Indian Journal of Animal Sciences**, (10): 1193-1196, 2018.
- FERNANDES, T.L.; PEREIRA, A.A.; MUNIZ, J.A. Comparação de modelos não lineares no estudo das curvas de crescimento do caranguejo de água doce. **Revista da Estatística da Universidade Federal de Ouro Preto**, v.2, p.375-2387, 2012.
- FERNANDES, G.A. *et al.* Modelos não lineares na descrição do crescimento ponderal de bovinos de corte. **Pubvet**, v.7, p.2327-2445, 2013.
- FIRAT, M. Z; *et al.* Bayesian Analysis for the Comparison of Nonlinear Regression Model Parameters: na Application to the Growth of Japanese Quail. **Brazilian Journal of Poultry Science**, p. 019-026, 2016.
- GURCAN, E. K; *et al.* Determination of Body Weight-Age Relationship by Non-Linear Models in Japanese Quail. **Journal of Animal and Veterinary Advances**, 11 (3): 314-317, 2012.
- HAQANI, M.I. *et al.* Quantitative trait loci for Growth-related traits in Japanese quail (*Coturnix japônica*) using restriction-site associated DNA sequencing. **Molecular Genetics and Genomics**, v.296, p.1147-1159, 2021.
- HRUBY, M.; HAMRE, M.L.; COON, C.N. Modelagem de crescimento como ferramenta para prever requisitos de aminoácidos de frangos de corte. **Journal of Applied Poultry Research**, v.3, p.403-415, 1994.

KAPLAN, S & GURCAN, E. K. Comparison of growth curves using non-linear regression function in Japanese quail. **Journal of Applied Animal Research**, 46: 1, 112-117, 2018.

KUCUKONDER H.D. Curva encaixada com regressão não linear e modelo de predição cinza de crescimento de frangos. **Pakistan Journal of Zoology**, v.52, p.347-354, 2019.

ORI, R.J. *et al.* Identificação de QTL para peso vivo e taxa de crescimento usando marcadores de DNA no cromossomo 3 em uma população F2 de codorna japonesa. **Molecular Biology Reports**, v.41, n.2, p.1049-1057. 2014.

SANTORO, K.R. *et al.* Herdabilidades de parâmetros de curvas de crescimento não-lineares em zebuínos, no Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, n.6, p.2280-2289, 2005.

SANTOS, A.L.P. **Métodos geradores de modelos de crescimento e decrescimento aplicados às ciências agrárias**. 2019. 92 f. Tese (Doutorado), Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE.

SANTOS, T. C; *et al.* Desenvolvimento corporal e testicular em machos de codornas de corte e de postura de 25 a 360 dias. **Pesquisa Veterinária Brasileira** 32(11): 1205-1212, 2012.

SOUSA JÚNIOR, S.C. *et al.* Estimação de funções de covariância para características de crescimento da raça Tabapuã utilizando modelos de regressão aleatória. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, n.5, p.1037-1045, 2010.

TEDESCHI, L.O. *et al.* Mathematical models in ruminant nutrition. **Scientia Agricola**, v.62, n.1, p.76, 2005

TEIXEIRA, M.C. *et al.* Curva de crescimento de cordeiros oriundos de três sistemas de produção na região nordeste do Brasil. **Semina: Ciências Agrárias**, v.33, n.5, p.2011-2018, 2012.

CAPÍTULO II

Comparação de modelos não lineares na avaliação do crescimento em codornas de corte

Artigo conforme as normas da revista:
The International Journal of Animal Biosciences

Comparação de modelos não lineares na avaliação do crescimento em codornas de corte

J.S. PEREIRA ^{a*}, S.C.SOUSA JÚNIOR ^b

^a Mestranda em Ciência Animal, Departamento de Zootecnia, Pós-Graduação em Zootecnia Tropical, Universidade Federal do Piauí - UFPI, Campus Ministro Petrônio Portela, Teresina, Piauí, Brasil.

^b Professor Adjunto, Departamento de Medicina Veterinária, Coordenação de Extensão do Curso de Medicina Veterinária, Universidade Federal do Delta do Paranaíba - UFDPAr, Campus Ministro Reis Velloso, Parnaíba, Piauí, Brasil.

*Autor correspondente: J.S. Pereira; E-mail: josylycesylva@gmail.com.

RESUMO

As decisões direcionadas à seleção dos melhores animais para resolver questões ligadas ao melhoramento genético, exigem diversas regras que são derivadas de teorias e conceitos generalizados. O objetivo geral desta pesquisa foi comparar diferentes modelos não lineares com distintos parâmetros e critérios para curva de crescimento de codornas de corte. Utilizou-se 26.226 informações relacionados aos pesos corpóreos do nascimento aos 35 dias de idade de 4.371 destas aves em duas linhagens para ambos os sexos, coletados em cinco gerações consecutivas entre os períodos de 2012 a 2015. Foram comparados 20 modelos não-lineares (Brody, Função Gama Incompleto, Gamito, Gompertz, Logístico I e II, Meloun I, II, III, IV, V e VI, Michaelis-Menten, Michaelis-Menten Modificado, Mitscherlich, Reynolds, Richards, Schnute, Von Bertalanffy e Weibull), para àquele que melhor descreve a curva média de crescimento e avaliar a influência de efeitos de ambiente sobre os parâmetros estimados. Os parâmetros (β_1 para o peso à idade adulta; β_2 para a constante de integração aos pesos iniciais do animal; β_3 para taxa de maturação; e β_4 para ponto de inflexão) foram estimados usando-se o procedimento NLIN do programa computacional Statistical Analysis System (SAS, University Edition, 2018). Com base em critérios de ajuste, como coeficiente de determinação ajustado (R_j^2), raiz do erro do quadrático médio (RMSE), critério de informação de Akaike (AIC), critério bayesiano de Schwarz (BIC) e desvio médio absoluto dos resíduos (DMA) constataram os modelos de Gompertz e Logístico II apresentaram ajustes médios superiores a todos os demais modelos chamados convencionais e alternativos, para descrever a curva de crescimento em duas linhas de codornas de corte. A taxa de crescimento absoluto obteve as seguintes informações: (i) linhagem 1 para o modelo Gompertz, com pesos de 9,01 g.dia⁻¹ aos 14 dias de idade, com ponto de inflexão (PI) de 124,71 g aos 18 dias de idade; e (ii) linhagem 1 para a função Logístico II, com pesos de 8,16 g/dia também aos 14 dias de idade, e PI de 122,29 g aos 19 dias de idade das codornas de corte criadas no Vale do Jequitinhonha e Mucuri.

Palavras-chave: *Coturnix coturnix*, curva de crescimento, peso corporal

Comparison of nonlinear models in the evaluation of growth of meat-type quail

ABSTRACT

Decisions aimed at selecting the best animals to resolve issues related to genetic improvement require several rules that are derived from generalized theories and concepts. The general objective of this research was to compare different non-linear models with different parameters and criteria for the growth curve of meat-type quail. We used 26.226 information related to body weights from birth to 35 days of age of 4.371 of these birds in two strains for both sexes, collected in five consecutive generations between the periods from 2012 to 2015. Twenty non-linear models were compared (Brody, Função Gama Incompleto, Gamito, Gompertz, Logístico I e II, Meloun I, II, III, IV, V e VI, Michaelis-Menten, Michaelis-Menten Modificado, Mitscherlich, Reynolds, Richards, Schnute, Von Bertalanffy and Weibull) or the one that best describes the average growth curve and evaluates the influence of environmental effects on the estimated parameters. The parameters (β_1 for adult weight; β_2 for the constant of integration to the initial weights of the animal; β_3 for maturation rate; e β_4 to inflection point) were estimated using the procedure NLIN of the computer program Statistical Analysis System (SAS, University Edition, 2018). Based on fit criteria, such as adjusted coefficient of determination (R_j^2), root mean square error (RMSE), Akaike information criterion (AIC), Schwarz Bayesian Criterion (BIC) and mean absolute deviation of residuals (DMA) found that the Gompertz and Logistic II models presented higher average adjustments than all other conventional and alternative models, to describe the growth curve in two lines of meat-type quail. The absolute growth rate obtained the following information: (i) strain 1 for the Gompertz model, with weights of 9,01 g.day⁻¹ at 14 days of age, with an inflection point (PI) of 124,71 g at 18 days old; and (ii) lineage 1 for the Logistics II function, with weights of 8,16 g/day also at 14 days of age, and a PI of 122,29 g at 19 days of age of meat-type quail reared in Vale do Jequitinhonha and Mucuri.

Key words: *Coturnix coturnix*, growth curve, body weight

INTRODUÇÃO

O Brasil possui um rebanho efetivo de um pouco mais de 21 milhões de tamanho efetivo em codornas, dando destaque para a região Sudeste com aproximadamente 16,5 milhões de aves (IBGE, 2020).

A coturnicultura vem ganhando destaque nos últimos anos, muitas são as características que levam ao favorecimento da criação de codornas, são animais de pequeno porte, baixo consumo de ração, maturidade sexual precoce, elevado crescimento e se destaca pelo alto valor nutricional de sua carne e ovo (KAUR *et al.*, 2015; WEN *et al.*, 2016).

Tem ocorrido aumento em destaque expressivo na produtividade e qualidade da carne de codornas, ocasionados pela introdução no mercado brasileiro de linhagens de aves específicas para produção de carne, como a codorna europeia de corte (*Coturnix coturnix*) (MUNIZ *et al.*, 2018). A carne de codorna caracteriza-se por sua suculência e sabor agradável, sendo bem aceita pelo consumidor. A suculência pode ser explicada pela rapidez do ciclo produtivo, visto que a ave é abatida no auge de seu desenvolvimento, perdendo essa característica quando o abate é feito após o período de reprodução. Apresenta também alto conteúdo proteico e baixa quantidade de gordura (CUNHA, 2009).

Produção de codornas de carne passou a ser um negócio, após o investimento pelos matrizeiros em seleção e qualidade das aves. Com surgimento de alojamentos maiores, em galpões, com tecnologia mais avançada, com resultados que deram lugar ao crescimento (GOMES, 2010; MELO, 2013). Contudo, ainda é uma atividade de poucos conhecimentos à cerca do melhoramento genético, manejo, sanidade e exigências nutricionais (MUNIZ *et al.*, 2018).

A criação de codornas é uma atividade economicamente crescente e com destaque, o Brasil ocupa o quinto lugar na produção de carne de codorna no cenário mundial (IBGE, 2009). Um dos fatores que inviabiliza o aumento da atividade é a falta de material genético especializado no mercado.

Nos programas de melhoramento de aves a seleção normalmente ocorre em função do peso corporal em uma idade fixa, tornando esta uma característica a ser melhorada para obtenção dos genótipos desejáveis. Para formação de linhagens de alto desempenho (RIBEIRO, 2014).

Com base nessas informações, objetivou-se comparar diferentes modelos não lineares com distintos parâmetros e critérios para curva de crescimento de codornas de corte.

MATERIAIS E MÉTODOS

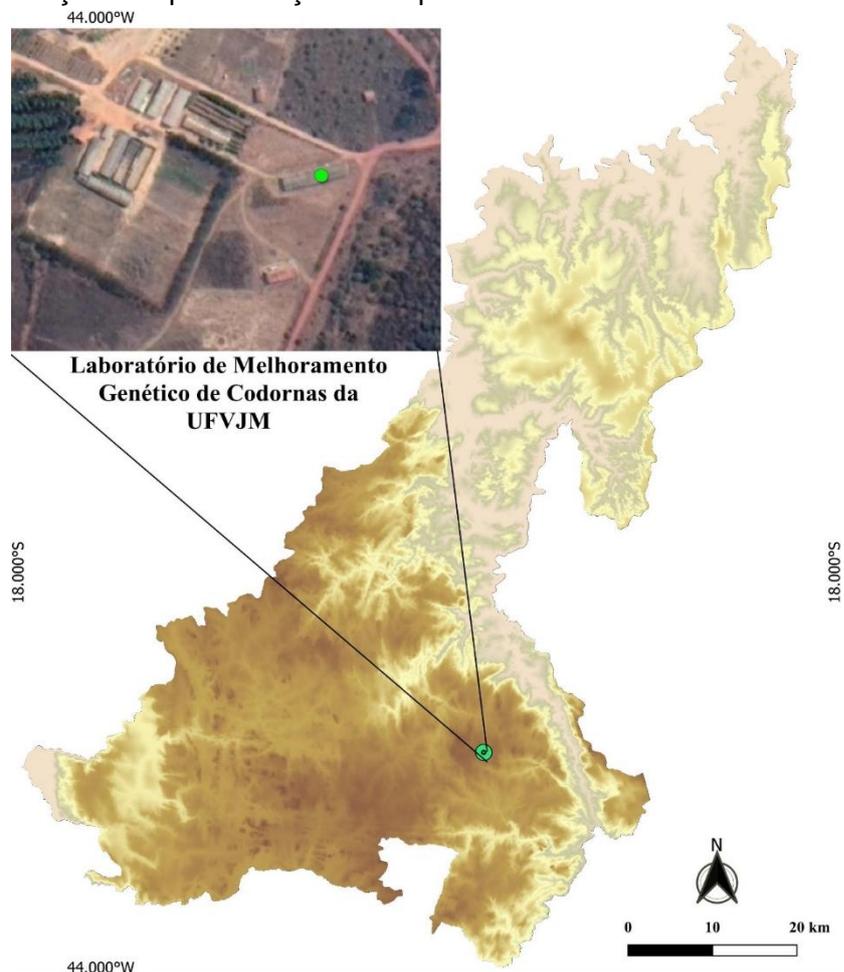
Declaração ética

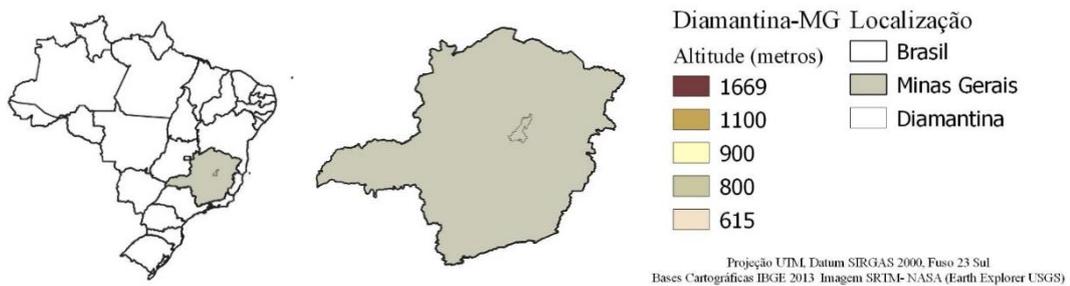
Este estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Experimentação Animal (CEUA) da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), sob os números de protocolos: 036/2012, 015/2013, 014/2014 e 003/2015.

Localização do experimento

A pesquisa foi conduzida no setor de incubatório e laboratório de melhoramento genético de codornas da Faculdade de Zootecnia, pertencente à UFVJM, *campus* de JK (18°10'S; 43°30'W; Altitude: 1.387m), na cidade de Diamantina (18°14'58"S; 43°36'01"W; Altitude: 1.113m) que está localizada na mesorregião do Estado de Minas Gerais, chamada Vale do Jequitinhonha e Mucuri (Figura 1).

Figura 1. Localização e implementação do experimento.





Fonte: IBGE (2013). Ilustração: elaborada pela autora.

Em toda a região local do experimento o clima é quente e temperado caracterizado por duas estações (chuvosa e seca) bem distintas: (i) temperatura média de 19,3°C (máxima: 21,2°C em Fevereiro; mínima: 16,4°C em Julho); (ii) pluviosidade (ou precipitação) média anual é de 1.279mm (máxima: 275mm em Dezembro; mínima: 12mm em Junho); e (iii) umidade relativa máxima de 78,67% em Dezembro, e mínima de 58,84% no mês de Setembro (Figura 2).

Figura 2. Dados climatológicos da região do experimento.

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Temperatura média (°C)	21.1	21.2	20.7	19.6	17.9	16.8	16.4	17.4	19.3	20.7	20.1	20.7
Temperatura mínima (°C)	17.3	17.2	17.2	16.1	14.1	12.8	12.2	12.4	14.1	15.8	16.7	17.3
Temperatura máxima (°C)	25.5	25.8	25.1	24	22.7	21.8	21.7	23.2	25.3	26.1	24.4	24.9
Chuva (mm)	185	132	150	81	33	12	12	14	41	108	236	275
Umidade(%)	75%	72%	78%	77%	74%	72%	68%	61%	59%	62%	76%	79%
Dias chuvosos (d)	11	10	12	8	5	2	2	3	5	8	14	15
Horas de sol (h)	8.0	7.9	6.9	6.0	6.1	6.2	6.5	7.3	7.6	7.6	6.4	7.5

Fonte: Climate-data.org (2021)

Dispositivo experimental de fenotipagem

Os dados utilizados neste estudo são provenientes de duas linhagens (1 e 2) experimentais de codornas de corte (*Coturnix coturnix*) de ambos os sexos, e as mensurações ocorreram entre os períodos de 02 de abril de 2012 a 15 maio de 2015.

Foram utilizados 13.194 e 13.032 registros de pesos, em cinco gerações, de 2.199 e 2.172 codornas da linhagem 1 e 2, respectivamente; mensurados a cada sete dias, ou seja, ao nascimento (P1), 7 (P7), 14 (P14), 21 (P21), 28 (P28) e 35 (P35) dias de idade.

A cada geração estavam sendo selecionadas, aves mais pesadas (P35) para serem utilizadas como progenitores das gerações seguintes, onde destes eram: (i) linhagem 1 com 1.022 machos e 1.177 fêmeas; e (ii) linhagem 2 com 1.005 machos e 1.167 fêmeas.

Estas aves no momento do nascimento eram identificadas com anilhas de pé e realizada a primeira pesagem individual, com o auxílio de balança eletrônica digital do tipo dinamômetro, com capacidade de até 5kg. Em seguida os pintainhos eram alojados, inicialmente, em círculos de proteção com tela de Eucatex®, em pisos forrados com cama de maravalha e sistema de aquecimento com lâmpadas incandescente. A codornas receberam polivitamínico ao nascimento, e vacinas no sétimo dia de vida contra doença de Newcastle e Bronquite, e aos 21 dias de idade foram vacinadas contra Bouda aviária, conforme a recomendações dos fabricantes.

A retirada do círculo de proteção foi feita quando os animais atingiram 21 dias de idade para que pudessem circular no galpão. O manejo diário incluía lavagem de bebedouros e comedouros, e verificação da mortalidade.

Estas aves alimentavam-se com rações compostas principalmente por milho e farelo de soja, e formuladas para atender às exigências delas, conforme programa nutricional recomendado pela empresa fornecedora da ração.

Em todas as fases de criação a água e ração foram fornecidas *ad libitum*. A partir dos 35 dias, as codornas selecionadas como maior peso corporal eram debicadas e alojados em gaiolas suspensas, onde estes animais receberam fotoperíodo crescente com luz artificial até completar 16 horas de luz diária.

Modelos e análises estatísticas

Como as pesagens eram realizadas de forma individuais cada sete dias (P1 até P35 dias de idade), posteriormente, os dados de peso e idade das duas linhagens de codornas de corte foram utilizados para comparar e/ou estimar as curvas de crescimento por meio de 20 modelos não lineares, entre os chamados convencionais e alternativos, conforme descritos na Tabela 1.

Tabela 1. Modelos de regressão não lineares utilizados para descrever curvas de crescimento

MODELOS	EQUAÇÕES	AUTORES
Brody	$y_i = \beta_1 \left(1 - \beta_2 e^{(-\beta_3 x_i)}\right) + e_i$	BRODY (1945)
Função Gama Incompleto	$y_i = \beta_1 x_i^{\beta_2} - e^{(-\beta_3 x_i)} + e_i$	WOOD (1967)
Gamito	$y_i = \frac{1}{(\beta_1 + \beta_2 x_i \beta_3)} + e_i$	GAMITO (1998)
Gompertz	$y_i = \beta_1 e^{(-e^{(\beta_2 - \beta_3 x_i)})} + e_i$	LAIRD (1965)
Logístico I	$y_i = \frac{\beta_1}{(1 + e^{(\beta_2 - \beta_3 x_i)})} + e_i$	NELDER (1961)
Logístico II	$y_i = \beta_1 (1 + \beta_2 e^{(-\beta_3 x_i)})^{-\beta_4} + e_i$	OLIVER (1964)
Meloun I	$y_i = \beta_1 - \beta_2 e^{(-\beta_3 x_i)} + e_i$	MELOUN; MILITKY (1996)
Meloun II	$y_i = \beta_1 (1 - e^{(-x_i - \beta_2)} \beta_3) + e_i$	MELOUN; MILITKY (1996)
Meloun III	$y_i = \beta_1 - e^{(-\beta_2 - \beta_3 x_i)} + e_i$	MELOUN; MILITKY (1996)
Meloun IV	$y_i = \beta_1 - \beta_2 e^{(-\beta_3 x_i \beta_4)} + e_i$	MELOUN; MILITKY (1996)
Meloun V	$y_i = \frac{\beta_2 \beta_3 + \beta_1 \beta_4 x_i}{\beta_3 + x_i \beta_4} + e_i$	MELOUN; MILITKY (1996)
Meloun VI	$y_i = \beta_1 - \beta_2 e^{(-\beta_3 x_i \beta_4)} + e_i$	MELOUN; MILITKY (1996)
Michaelis-Menten	$y_i = \frac{\beta_1 x_i}{x_i + \beta_2} + e_i$	MICHAELIS; MENTEN (1913)
Michaelis-Menten Modificado	$y_i = \frac{\beta_2 \beta_3^{\beta_4} + \beta_1 x_i^{\beta_4}}{\beta_3^{\beta_4} + x_i \beta_4} + e_i$	LOPEZ <i>et al.</i> (2000)
Mitscherlich	$y_i = \beta_1 (1 - e^{(\beta_3 \beta_2 - \beta_3 x_i)}) + e_i$	PHILLIPS; CAMPBELL (1968)
Reynolds	$y_i = \beta_1 + (\beta_2 x_i)^{\frac{-1}{\beta_2}} + e_i$	REYNOLDS (1995)
Richards	$y_i = \frac{\beta_1}{(1 + e^{(\beta_2 - \beta_3 x_i)})^{\frac{1}{\beta_4}}} + e_i$	RICHARDS (1959)
Schnute	$y_i = \frac{\beta_1}{(1 + \beta_4 e^{(\beta_3 \beta_2 - x_i)})^{\frac{1}{\beta_4}}} + e_i$	SCHNUTE (1981)
Von Bertalanffy	$y_i = \beta_1 (1 - \beta_2 e^{(-\beta_3 x_i)})^3 + e_i$	VON BERTALANFFY (1957)
Weibull	$y_i = \beta_1 - \beta_2 e^{(-e^{\beta_3 x_i^{\beta_4}})} + e_i$	YANG <i>et al.</i> (1978)

Fonte: elaborada pela autora (2022)

em que:

y_i : peso corporal da observação (codorna) i ($i=1,2,\dots,N$; sendo N o número de animais) em gramas, à idade x_i ;

x_i : tempo (idade em dias) de cada observação i ;

β_1 : peso assintótico (ou peso adulto) quando x_i tende a mais infinito (sendo n o número de medidas por animal, e N o número de animais e), ou seja, este parâmetro é interpretado como peso à idade adulta;

β_2 : constante de integração, relacionada aos pesos iniciais do animal e sem interpretação prática e/ou biológica bem definida, ou seja, o valor de β_2 é estabelecido pelos valores iniciais de y_i e x_i ;

β_3 : taxa de maturação (ou velocidade de crescimento), que deve ser entendida como a mudança de peso em relação ao peso à maturidade, ou seja, como indicador da velocidade com que o animal se aproxima do seu tamanho adulto; Exceto para os modelos Michaelis-Menten Modificado e Weibull, em que para o primeiro este parâmetro representa a idade na qual se atinge a metade do peso adulto e no segundo a taxa de maturidade é obtida como sendo uma função dos demais parâmetros

β_4 : parâmetro que dá forma à curva, ou seja, sua fixação determina a forma da curva e, conseqüentemente, o ponto de inflexão; e os demais modelos ou apresentam o ponto de inflexão fixo, ou não o possuem, como é o caso dos modelos Brody e Michaelis-Menten

e_i : erro associado a cada observação i , onde $e \sim N(0, I\sigma^2)$.

O modelo Weibull também apresenta quatro parâmetros como a função Richards, entretanto ao ajustar estas duas funções concluiu-se que por meio do cálculo de medidas de crescimento, o modelo Richards foi estatisticamente muito mais difícil que a função Weibull, o que compromete em uma baixa praticidade em razão à complexidade de convergência (RODRIGUES *et al.* 2007).

Já para os modelos de Meloun I, II, III, IV, V a VI possuem grande flexibilidade de modelagem, o mesmo pode se caracterizar como modelo alternativo para descrição de curvas de crescimento de animais (SILVEIRA, 2010).

Michaelis; Menten (1913) inicialmente propuseram esse modelo para descrever a cinética de reações químicas. Esse modelo não linear envolveu uma função monótona crescente côncava a partir da origem e, atualmente, a aplicação dessa função acontece em diversos contextos, como na avaliação de crescimento animal (SOUZA *et al.*, 2013). Ainda para esse modelo, foi ajustado em uma metodologia diferente na forma linearizável, chamado de Michaelis-Menten Modificado (LOPEZ *et al.*, 2000). Ou seja, este método apresenta uma generalização do modelo original

(Michaelis-Menten) com o objetivo de descrever curvas de crescimento sigmóides, uma vez que a função original não apresenta PI.

Os modelos Função Gama Incompleto, Gamito, Mitscherlich, Reynolds e Schnute, mostrados na Tabela 1 foram utilizados para serem caracterizados como modelos alternativos para descrição de curvas de crescimento de animais.

A obtenção destas estimativas iniciou adotando-se valores iniciais atribuídos aos próprios parâmetros a serem estimados através dos avaliadores da qualidade de ajuste.

Avaliadores da qualidade de ajuste

Para a comparação de modelos não lineares para avaliar o crescimento de duas linhagens de codornas de corte foram utilizados cinco avaliadores de qualidade de ajuste:

a) Coeficiente de Determinação Ajustado – R_{aj}^2

Este coeficiente é usado para comparar a qualidade de ajuste de modelos com diferentes números de parâmetros (RIBEIRO, 2014). Sua fórmula é dada por:

$$R_{aj}^2 = 1 - \left[\frac{p-1}{N-p} \right] x (1 - R^2)$$

em que:

$$R^2 = 1 - \frac{SQR}{SQT} : \text{coeficiente de determinação};$$

$$SQR = \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2 : \text{soma de quadrados do resíduo};$$

Y_i : valor observado;

$\hat{Y}_i = f(x_i, \theta)$: método de estimação por mínimos quadrados, em cada etapa são obtidos um conjunto de estimativas atualizadas até que a convergência chegue a um único vetor final de estimativas, com a finalidade de obter soma mínima de quadrados do resíduo ($SMQR$).

$$SQT = \sum_{i=1}^n \left(Y_i - \bar{Y}_i \right)^2 : \text{soma de quadrados total corrigida pela média; e por meio de}$$

uma análise de regressão linear, foi considerado o peso predito pelo modelo como variável dependente e o peso observado do animal como variável independente;

N : número de observações utilizadas para ajustar a curva; e

p : número de parâmetros na função, incluindo o intercepto (p.e. Brody possui β_1 , β_2 e β_3 , então o $p = 3$).

b) Erro de Raiz Quadrático Médio – *RMSE*

Frequentemente usada para expressar a acurácia (confiabilidade) dos resultados obtidos no ajuste. Quanto menor o valor de RMSE mais próximo o ajuste está dos dados observados e conseqüentemente, maior qualidade do ajuste (ALMEIDA, 2020). Sua fórmula é dada por:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{N}}$$

em que:

Y_i : valor observado;

\hat{Y}_i : valor estimado; e

N : número de observações.

c) Critério de Informação de Akaike – *AIC*

Permite utilizar o princípio da parcimônia na escolha do melhor modelo, ou seja, de acordo com este critério nem sempre o modelo mais parametrizado é o melhor e, menores valores de AIC refletem um melhor ajuste (AKAIKE, 1974 *apud* OLIVEIRA *et al.*, 2021). Sua expressão é dada por:

$$AIC = -2 \ln L + 2p$$

em que:

p : número de parâmetros na função; e

$\ln L$: valor do logaritmo da função de verossimilhança considerando as estimativas dos parâmetros.

d) Critério de Informação Bayesiano – *BIC*

Assim como o AIC, também leva em conta o grau de parametrização do modelo p , e da mesma forma, quanto menor for o valor de BIC (SCHWARZ, 1978 *apud* OLIVEIRA *et al.*, 2021), melhor será o ajuste do modelo. Sua expressão é dada por:

$$BIC = -2 \ln L + p \cdot \ln(N - r(X))$$

em que:

p : número de parâmetros na função; e

$\ln L$: valor do logaritmo da função de verossimilhança considerando as estimativas dos parâmetros.

N : número total de observações utilizadas para ajustar a curva; e

$r(X)$: posto da matriz de incidência dos efeitos fixos do modelo.

e) Desvio Médio Absoluto dos Resíduos – *DMA*

Assim como os demais critérios (ou avaliadores), quanto menor o valor do DMA melhor será o ajuste de modelos (SARMENTO *et al.*, 2006 *apud* OLIVEIRA *et al.*, 2021). Sua expressão é dada por:

$$DMA = \frac{\sum_{i=1}^n |Y_i - \hat{Y}_i|}{n}$$

em que:

Y_i : valor observado;

\hat{Y}_i : valor estimado; e

n : tamanho da amostra.

Análise dos dados

Os modelos de regressão não linear (Tabela 1) foram ajustados aos dados de peso-idade de codornas por meio do PROC NLIN dos SAS (SAS, University Edition, 2018) via método dos quadrados mínimos ordinários com algoritmo de Gauss-Newton; e para o critério de convergência foi pressuposto um valor de 10^{-8} , onde se estabeleceu a existência ou não de convergência.

Após a observação dos melhores avaliadores da qualidade de ajuste, seguida pela escolha do modelo de regressão não linear que descrevesse a trajetória de crescimento corporal das codornas de corte, calculou-se a taxa de crescimento absoluta (TCA), onde esta foi obtida a partir da primeira derivada do modelo ajustado, em relação ao tempo, conforme a equação a seguir:

$$\frac{\partial y_i}{\partial x_i}$$

em que:

y_i : peso corporal da codorna, em gramas; e

x_i : idade da codorna, em dias.

Através do ganho de peso corporal por unidade de tempo (em dias) a TCA exhibe o ganho de peso médio diário avaliado ao longo da trajetória de crescimento destas aves. Ou seja, representa a taxa média de crescimento destes animais dentro da população de codornas de corte.

Através dos comandos PROC GLM e PROC CORR dos SAS (SAS, University Edition, 2018) foi analisado a influência de efeitos de ambiente e das correlações fenotípicas entre os parâmetros estimados (β_1 e β_3) para cada codorna (dependendo do modelo ajustado).

Após constatada a convergência de todos os modelos, confeccionou-se um arquivo (Tabela 3) de dados contendo a identificação de cada modelo, e os valores correspondentes para cada critério (avaliador) de qualidade de ajuste.

Em seguida, com a escolha do melhor modelo ajustado para duas linhagens de codornas de corte, foi adotado um modelo estatístico a fim de verificar os fatores de ambiente que poderiam influenciar a forma da curva de crescimento (SARMENTO *et al.*, 2006 *apud* OLIVEIRA *et al.*, 2021), conforme a equação a seguir:

$$y_{ijkl} = \mu + S_i + G_j + MM_k + MA_l + e_{ijkl}$$

em que:

y_{ijkl} : estimativa do parâmetro;

μ : média geral;

S_i : efeito fixo do sexo i da codorna ($i = 1$ para machos, e $i = 2$ para fêmeas);

G_j : efeito fixo de geração j do lote de aves ($j = 1, \dots, 5$ gerações);

MM_k : efeito fixo da mensuração mensal, de forma individual, do peso corporal da codorna ($k = 1$ para o mês de abril, $k = 2$ para o mês de agosto, e $k = 3$ para o mês de novembro);

MA_l : efeito fixo da mensuração anual ($l = 1$ para o ano 2012, $l = 2$ para o ano 2013, $l = 3$ para o ano 2014 e $l = 4$ para o ano 2015); e

e_{ijkl} : erro aleatório associado a cada observação, onde $e \sim N(0, I\sigma^2)$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os números das duas linhagens (1 e 2) de codornas de corte, em cinco gerações, juntamente com as informações do nascimento (P1) até aos 35 (P35) dias de idade são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 2. Estatísticas descritivas das observações ao nascimento (P1) e ajustados aos 7 (P7), 14 (P14), 21 (P21), 28 (P28) e 35 (P35) dias de idade, e de ambos os sexos, em codornas de corte

	Pesagens	Linhagem 1						Linhagem 2						
		N	Máx	Mín	μ	σ	CV%	N	Máx	Mín	μ	σ	CV%	
Geração 1	Idade (dias)	P1	208	12,00	6,55	9,49	0,89	9,38	573	13,00	6,30	9,66	1,000	10,39
		P7	208	47,60	12,10	33,17	5,57	16,79	573	45,40	20,50	33,03	3,66	11,10
		P14	208	112,00	38,50	86,30	12,61	14,61	573	116,90	47,40	81,98	9,61	11,73
		P21	208	169,00	70,90	134,22	15,83	11,79	573	214,40	79,70	142,81	16,73	11,71
		P28	208	237,10	111,10	191,16	22,69	11,87	573	282,90	109,00	189,96	19,90	10,48
		P35	208	291,40	165,50	232,27	19,58	8,43	573	318,20	129,80	226,50	21,37	9,43
	Sexo	Machos	94	270,20	7,50	111,80	79,28	70,91	286	318,20	6,40	112,08	78,98	70,47
Fêmeas		114	291,40	6,55	116,61	83,33	71,47	287	308,00	6,30	115,89	82,11	70,85	
Geração 2	Idade (dias)	P1	582	13,40	6,70	9,87	0,96	9,70	495	11,80	6,40	9,25	0,90	9,68
		P7	582	49,20	16,70	34,69	4,43	12,78	495	47,50	15,00	31,76	5,27	16,58
		P14	582	113,70	35,50	88,48	10,36	11,70	495	113,10	34,00	70,35	14,01	19,92
		P21	582	191,10	78,40	151,10	17,47	11,56	495	179,50	51,60	123,20	21,93	17,80
		P28	582	293,20	109,10	199,60	20,97	10,51	495	297,40	108,20	190,01	27,26	14,35
		P35	582	296,00	136,30	236,85	22,19	9,37	495	332,00	154,80	243,83	28,83	11,82
	Sexo	Machos	289	290,20	6,70	116,98	81,99	70,09	208	332,00	7,00	109,66	84,49	77,05
Fêmeas		293	296,00	6,71	123,17	86,57	70,28	287	326,20	6,40	112,67	87,42	77,59	
Geração 3	Idade (dias)	P1	515	13,10	7,40	9,54	0,64	6,69	536	12,60	6,90	9,51	0,91	9,61
		P7	515	44,70	15,60	32,18	5,22	16,23	536	48,30	17,10	31,07	5,13	16,52
		P14	515	110,00	33,50	78,08	13,70	17,54	536	90,60	36,80	64,67	9,82	15,18
		P21	515	191,50	49,70	126,35	20,70	16,38	536	169,60	72,60	128,21	15,02	11,72
		P28	515	258,50	101,20	200,00	26,23	13,12	536	253,10	125,90	193,41	19,06	9,85
		P35	515	356,40	105,60	251,28	29,50	11,74	536	348,80	118,70	231,63	21,92	9,46
	Sexo	Machos	211	356,40	7,70	114,18	87,12	76,30	250	286,10	6,90	109,18	82,65	75,71
Fêmeas		304	322,50	7,40	117,67	90,16	76,62	286	348,80	7,20	110,25	83,91	76,11	
Geração 4	Idade (dias)	P1	489	12,30	6,30	9,61	1,00	10,37	445	12,60	6,90	9,51	0,95	9,95
		P7	489	51,20	20,80	34,74	4,89	14,08	445	50,00	14,90	35,32	4,82	13,65
		P14	489	105,60	46,90	80,42	10,40	12,93	445	114,50	51,00	93,00	9,68	10,40
		P21	489	190,50	91,00	147,06	16,66	11,33	445	201,30	78,70	160,08	15,05	9,40
		P28	489	267,30	124,30	211,85	19,69	9,29	445	298,70	109,00	217,98	21,37	9,80
		P35	489	311,20	184,80	249,40	20,75	8,32	445	342,10	141,60	255,79	24,46	9,56
	Sexo	Machos	226	308,50	6,30	118,78	86,83	73,10	211	342,10	6,90	125,49	89,48	71,30
Fêmeas		263	311,20	7,50	125,10	91,75	73,34	234	332,20	7,40	131,43	94,00	71,52	

Geração 5	Idade (dias)	P1	405	13,20	7,10	9,81	1,00	10,21	123	10,50	6,20	8,25	0,87	10,53
		P7	405	54,80	20,10	39,96	4,75	11,88	123	47,10	21,20	29,75	4,07	13,67
		P14	405	129,70	27,80	99,74	11,47	11,50	123	118,00	71,10	96,25	9,02	9,37
		P21	405	218,60	80,50	168,85	16,46	9,75	123	205,90	101,80	163,36	19,03	11,65
		P28	405	298,70	146,70	228,81	20,16	8,81	123	266,80	142,50	216,97	19,73	9,09
		P35	405	352,90	197,90	269,99	23,80	8,82	123	298,20	176,50	251,51	20,99	8,34
	Sexo	Machos	202	331,00	7,10	133,49	93,92	70,35	50	298,20	6,50	127,80	91,84	71,86
Fêmeas	203	352,90	7,30	138,90	98,33	70,79	73	295,60	6,20	127,51	92,08	72,21		

N = tamanho efetivo de codornas; Máx = máximo, em g (gramas); Mín = mínimo, em g; μ = média, em g; σ = desvio-padrão, em g; CV% = coeficiente de variação, em %. Fonte: elaborada pela autora.

Os modelos de regressão não lineares (Tabela 3), avaliados para as duas linhagens (1 e 2) de codornas de corte, em ambos os sexos, apresentaram as seguintes informações: (i) Brody, Função Gama Incompleto, Meloun II, III, V e VI, Mitscherlich, Reynolds e Weibull não convergiram; (ii) Gamito, Meloun I e IV, Michaelis-Menten, Michaelis-Menten Modificado e Schnute não apresentaram padrão de crescimento tradicional, e por essa razão seus parâmetros e avaliadores de ajuste não foram considerados; e (iii) Gompertz, Logístico I e II, Richards e Von Bertalanffy mostraram-se adequados (Figura 1 e 2), sendo os modelos Logístico II e o Richards as únicas funções com quatro parâmetros ($\beta_1, \beta_2, \beta_3$ e β_4).

Juárez-Caratachea *et al.*, (2019) também não conseguiram resultados de convergência a curva de Brody. As curvas por sexo dos dados demonstram, de forma clara que os machos pesavam mais que as fêmeas.

O modelo Gompertz, foi desenvolvido supondo que a taxa de crescimento absoluto decresce de forma exponencial com os dias (tempo), e com curva assimétrica em relação a seu ponto de inflexão (PI), ou seja, o ritmo do desenvolvimento dos tecidos corporais que auxiliam ao ganho de peso animal é mais devagar (ou lento) após de atingir o ponto PI (LAIRD, 1965). Para a função Gompertz o parâmetro β_4 tende ao ∞ (infinito) (GUEDES, 2004 *apud* OLIVEIRA *et al.*, 2021).

Os modelos Logísticos I e II apresentam curvas sigmóides e simétricas em relação ao PI. Entretanto, para a função Logístico II, o parâmetro $\beta_2 = 1$ (GUEDES, 2004 *apud* OLIVEIRA *et al.*, 2021).

O modelo de Richards é uma função com PI variável. Ou seja, há uma dificuldade de ajustar este modelo em função da não convergência do processo iterativo; e consequentemente, causado pela alta correlação fenotípica negativa entre os parâmetros β_2 e β_3 (BROWN *et al.*, 1976 *apud* OLIVEIRA *et al.*, 2021).

O modelo de Von Bertalanffy baseia-se na suposição de que o crescimento é a diferença entre as taxas de anabolismo e catabolismo dos tecidos corporais que

auxiliam ao ganho de peso animal. Para a função Von Bertalanffy, o parâmetro $\beta_4 = 3$ (FORNI *et al.*, 2007 *apud* OLIVEIRA *et al.*, 2021).

A escolha do modelo Gompertz concorda com os resultados de Drumond *et al.* (2013), Ribeiro (2014) e Rocha-Silva *et al.* (2016) para codornas de corte.

Firat *et al.* (2016) para dados de crescimento de codornas japonesas concluíram que o modelo Logístico apresente bons ajustes para crescimento, mas nada comparado com os modelos Gompertz e Richards que se sobressaíram na avaliação durante esta avaliação.

Oliveira *et al.* (2018) verificaram que as funções de Gompertz e de Logístico demonstraram melhores descrição para curva de crescimento em aves leves alojadas em diferentes densidades populacionais.

As estimativas dos parâmetros e os avaliadores de ajuste aos dados individuais nas duas linhagens (1 e 2) de codornas de cortes, em ambos os sexos, criadas no Vale do Jequitinhonha e Mucuri, do Estado de Minas Gerais, são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3. Estimativas de médias e erro padrão dos parâmetros, juntamente com as estatísticas dos critérios utilizados para comparar os modelos não lineares avaliando o crescimento de codornas de corte, em função das linhagens e de ambos os sexos

Características	Modelos	Estimativas				Avaliadores				
		β_1	β_2	β_3	β_4	R^2_{ajus}	RMSE	AIC	BIC	DMA
Linhagem 1	<u>Gompertz</u>	339,00 ± 3,48	3,7811 ± 0,0332	0,0722 ± 0,00101	–	0,96	30,42	215301,36	90145,52	12,55
	Logístico I	276,60 ± 1,46	18,4807 ± 0,3484	0,1451 ± 0,00140	–	0,96	30,64	215490,16	90334,32	13,69
	Logístico II	317,30 ± 2,63	–	0,0868 ± 0,00098	5,095 ± 0,042	0,96	30,43	215310,06	90154,22	12,74
	Richards	336,30 ± 7,85	0,0796 ± 0,2213	0,0737 ± 0,00423	48,975 ± 132,107	0,96	30,42	215303,23	90154,87	12,56
	Von Bertalanffy	409,50 ± 6,49	0,7762 ± 0,0044	0,0470 ± 0,00090	–	0,96	30,48	215348,52	90192,68	12,88
Machos	<u>Gompertz</u>	325,50 ± 2,87	3,7602 ± 0,0297	0,0730 ± 0,00090	–	0,99	17,99	89013,49	35496,46	11,84
	Logístico I	267,50 ± 1,24	18,2013 ± 0,3095	0,1460 ± 0,00126	–	0,98	18,32	89237,96	35720,93	12,95
	Logístico II	305,40 ± 2,18	–	0,0870 ± 0,00088	5,066 ± 0,037	0,99	18,00	89021,20	35504,17	12,01
	Richards	320,30 ± 6,18	0,1770 ± 0,2106	0,0765 ± 0,00377	22,687 ± 25,319	0,99	17,99	89014,72	35504,41	11,86
	Von Bertalanffy	389,90 ± 5,28	0,7740 ± 0,00397	0,0480 ± 0,00080	–	0,99	18,09	89080,48	35563,45	12,19
Fêmeas	<u>Gompertz</u>	326,40 ± 2,20	3,8938 ± 0,0230	0,0726 ± 0,00066	–	0,94	37,79	113783,91	51276,80	12,77
	Logístico I	284,60 ± 2,54	18,7227 ± 0,5837	0,1443 ± 0,00230	–	0,94	37,98	113855,09	51347,99	13,95
	Logístico II	327,80 ± 4,63	–	0,0859 ± 0,00164	5,120 ± 0,069	0,94	37,80	113787,80	51280,70	12,96
	Richards	350,70 ± 14,48	0,3479 ± 0,0051	0,0714 ± 0,00702	746,000 ± 50757,101	0,94	37,79	113785,91	51285,67	12,77
	Von Bertalanffy	427,00 ± 11,63	0,7780 ± 0,0071	0,0461 ± 0,00149	–	0,94	37,83	113799,26	51292,15	13,09
Linhagem 2	Gompertz	326,40 ± 2,20	3,8938 ± 0,0230	0,0726 ± 0,00066	–	0,98	18,80	199945,87	76487,97	12,65
	Logístico I	264,60 ± 0,90	19,9441 ± 0,2537	0,1477 ± 0,00092	–	0,98	18,95	200151,24	76693,34	13,34
	<u>Logístico II</u>	305,40 ± 1,65	–	0,0871 ± 0,00064	5,242 ± 0,028	0,98	18,77	199906,50	76448,60	12,63
	Richards	300,50 ± 3,57	1,4148 ± 0,3133	0,0914 ± 0,00305	4,051 ± 0,643	0,98	18,77	199906,55	76456,12	12,66
	Von Bertalanffy	398,10 ± 4,24	0,7885 ± 0,0030	0,0467 ± 0,00060	–	0,98	18,96	200172,00	76714,10	13,13
Machos	Gompertz	318,00 ± 3,01	3,8692 ± 0,0331	0,0733 ± 0,00095	–	0,98	18,38	89741,31	35932,55	12,32
	Logístico I	259,30 ± 1,25	19,5791 ± 0,3589	0,1480 ± 0,00133	–	0,98	18,54	89853,09	36044,34	13,02
	<u>Logístico II</u>	298,00 ± 2,28	–	0,0879 ± 0,00093	5,208 ± 0,041	0,98	18,35	89724,86	35916,10	12,32
	Richards	295,30 ± 5,03	1,2272 ± 0,4136	0,0903 ± 0,00433	4,464 ± 1,111	0,98	18,35	89726,54	35924,52	12,32
	Von Bertalanffy	385,00 ± 5,72	0,7861 ± 0,00436	0,0475 ± 0,00085	–	0,98	18,53	89846,43	36037,68	12,79
Fêmeas	Gompertz	334,10 ± 3,16	3,9161 ± 0,0317	0,0720 ± 0,00091	–	0,98	18,99	101052,39	40436,00	12,84
	Logístico I	269,30 ± 1,27	20,2769 ± 0,3547	0,1474 ± 0,00126	–	0,98	19,12	101148,48	40532,09	13,53
	<u>Logístico II</u>	312,00 ± 2,37	–	0,0865 ± 0,00088	5,272 ± 0,039	0,98	18,96	101029,10	40412,72	12,81
	Richards	305,10 ± 5,01	1,6016 ± 0,4668	0,0925 ± 0,00426	3,732 ± 0,760	0,98	18,96	101029,12	40419,57	11,86
	Von Bertalanffy	410,10 ± 6,18	0,7907 ± 0,00409	0,0465 ± 0,00081	–	0,98	19,16	101175,89	40559,50	13,33

Fonte: elaborada pela autora (2022). Abreviações: β_1 = peso à maturidade; β_2 = constante de integração; β_3 = taxa de maturidade; β_4 = ponto de inflexão (parâmetro que dá forma à curva); R^2_{ajus} = coeficiente de determinação ajustado; RMSE = erro de raiz quadrático médio; AIC = critério de informação de Akaike; BIC = critério de informação Bayesiano; DMA = desvio médio absoluto dos resíduos.

Ao analisar as estimativas e o erro padrão (Tabela 3) para as linhagens 1 e 2, em ambos o sexo, observou-se que os modelos, em relação às demais funções de crescimento, apresentaram Von Bertalanffy com elevado peso assintótico ($403,92 < \beta_1 < 416,28$), e baixa taxa de maturação ($0,0446 < \beta_3 < 0,0476$), observados em fêmeas da linhagem 1; para o modelo Logístico I, mostrou baixo peso assintótico ($268,032 < \beta_1 < 270,57$), observados em fêmeas da linhagem 2; entretanto, apresentou alta valores altos para a constante de integração ($19,9222 < \beta_2 < 20,6316$) para fêmeas da linhagem 1, e para a taxa de maturação ($0,1467 < \beta_3 < 0,01493$) em machos da linhagem 2; e o modelo Richards apresentou decréscimos para a constante de integração ($0,3428 < \beta_3 < 0,3530$), observados em fêmeas da linhagem 2.

Sendo o peso adulto de codornas aproximadamente 260g (MORI *et al.*, 2005) e comparando com os modelos atuais neste estudo considerando os intervalos pelo erro padrão das estimativas (Tabela 3), observou-se que os modelos Logístico I para fêmeas da linhagem 2 foi o que mais se aproximou ($263,37 < \beta_1 < 265,55$) para o peso adulto e, o modelo Von Bertalanffy ($415,37 < \beta_1 < 438,63$) superestimou o peso adulto.

Mignon-Grasteau *et al.* (1999) reportaram que a taxa de maturação (β_3) foi maior em aves machos do que em fêmeas. Hancock *et al.* (1995), por outro lado, não observou dimorfismo sexual em β_3 quando o modelo de Gompertz foi ajustado.

Estes resultados encontrados neste estudo estão em de acordo com as informações, de que o modelo Gompertz foi o mais adequado para galiformes (TZENG; BECKER 1981; AKBAÏ; OYUZ 1998; NARINÇ; AKSOY; KARAMAN 2010).

O crescimento é um fenômeno afetado tanto pela genética quanto pelas condições ambientais, e assim, e independem de espécies, linhagens e/ou famílias (NARINÇ; AKSOY 2012; ÜÇKARDEYİ; NARINÇ 2014). Portanto, é necessário determinar o modelo mais adequado para cada lote estudado.

Silva (2017) indicou que para as estimativas dos parâmetros β_1 , β_2 e β_3 os modelos de Gompertz e Logístico apresentaram estimativas mais coerência com o comportamento biológico natural para a estimativa de β_1 em coelhos. Para se chegar a melhores conclusões foram adotados critérios para atestar a qualidade do ajuste e escolha do modelo que ofereceu melhor ajuste.

Coelho *et al.* (2018) observaram que o parâmetro β_3 obteve menores estimativas para os modelos Richards (0,0352) e Von Bertalanffy (0,0450); e as maiores valores para este mesmo parâmetros foram encontradas para os modelo de Gompertz (18,2399) e Logístico (0,1211).

Juárez-Caratachea *et al.* (2019) encontraram peso assintótico β_1 mais altos em fêmeas em comparação aos machos em perus. O modelo Von Bertalanffy foi o que melhor se ajustou aos dados para estas aves em ambos os sexos, seguido pelos modelos Gompertz e Logístico. As maiores estimativas do parâmetro β_1 (peso maduro) para fêmeas e machos foram obtidas com o modelo de Von Bertalanffy seguido pelos modelos de Gompertz e Logística. No entanto, o oposto foi verdadeiro para o parâmetro β_2 . O modelo logístico estimou o maior valor de β_3 para fêmeas e machos (0,196 e 0,171, respectivamente) e o modelo Von Bertalanffy (0,089 e 0,055) com menores valores para esta análise.

Para o avaliador de ajuste R^2_{aj} (coeficiente de determinação ajustado) os maiores valores (0,99) foram encontrados para os modelos Logístico I, Richards e Von Bertalanffy; entretanto, o menores valores foram encontrados para todos os modelos deste estudo em codornas de corte, encontrados unicamente em fêmeas da linhagem 1.

Maia *et al.* (2009) utilizaram os modelos Gompertz, Logístico e Von Bertalanffy e para determinação de critérios de avaliação, os avaliadores RMSE, BIC e R^2_{aj} . Estes autores ainda relataram que o modelo Logístico apresentou o melhor ajuste para todos indicadores, para descrever a curva de crescimento.

Silveira *et al.* (2011) informaram que quanto maior o número de critérios adotados, mais confiável é a indicação dos melhores modelos. Por outro lado, quando um grande número de indicadores for utilizado, a escolha do modelo pode se tornar um processo complexo.

Drumond (2013) através de critérios de ajuste para melhor descrição da curva de crescimento de codornas recomendou o modelo Logístico.

Galeano-Vasco *et al.* (2014) informaram que o modelo de Gompertz teve o melhor ajuste para modelar a curva de crescimento das aves, segundo AIC (8419,40) e BIC (8428,20), em comparação aos modelos analisados Richards e Von Bertalanffy.

Silva (2017) adotou como critério de ajuste o avaliador DMA para a descrição de crescimento através dos modelos Gompertz e Logístico.

Ribeiro *et al.* (2021) reportaram que os avaliadores de ajuste RMSE (41,46), AIC (41,66) e BIC (41,04) indicaram que os melhores modelos foram Richards Logístico para curva de crescimento em aves.

Com base no DMA, foram observados pequenos desvios em todos os modelos, com menor valor para o modelo Gompertz (0,779) indicando melhor ajuste médio, em comparação aos modelos de Von Bertalanffy e Logístico (0,784 e 0,788, respectivamente).

As estimativas do pesos das codornas de corte, em função da idade ajustados pelos modelos não lineares, em ambos os sexos de cada linhagem são apresentados nas Figura 3 e 4.

Os modelos Gompertz e Logístico II, por apresentarem os melhores resultados nos critérios de qualidade de ajuste, foram definidos como os mais adequados para descreverem o crescimento e/ou ganho de peso em codornas de corte, para a linhagens 1 e 2, respectivamente (Figura 5); e ainda estimados para ambos os sexos (Figura 6).

Figura 3. Estimativa do peso em função da idade ajustados pelos modelos não lineares em ambos os sexos, em codornas, para a linhagem 1

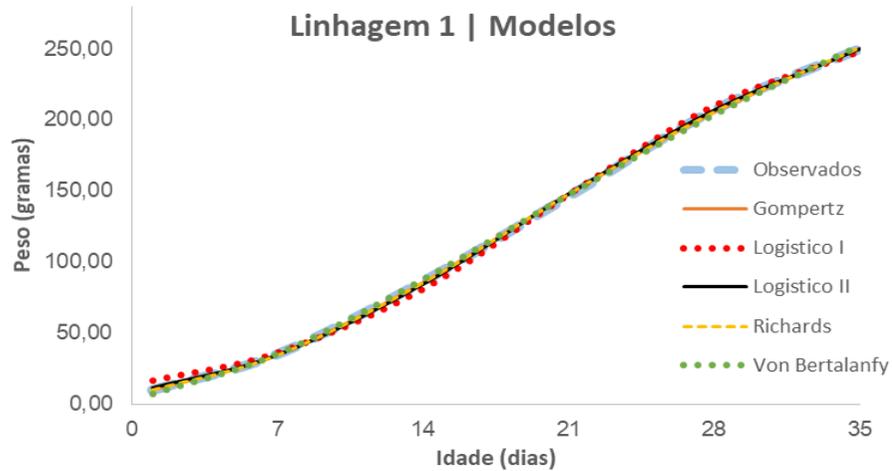


Figura 4. Estimativa do peso em função da idade ajustados pelos modelos não lineares em ambos os sexos, em codornas, para a linhagem 2

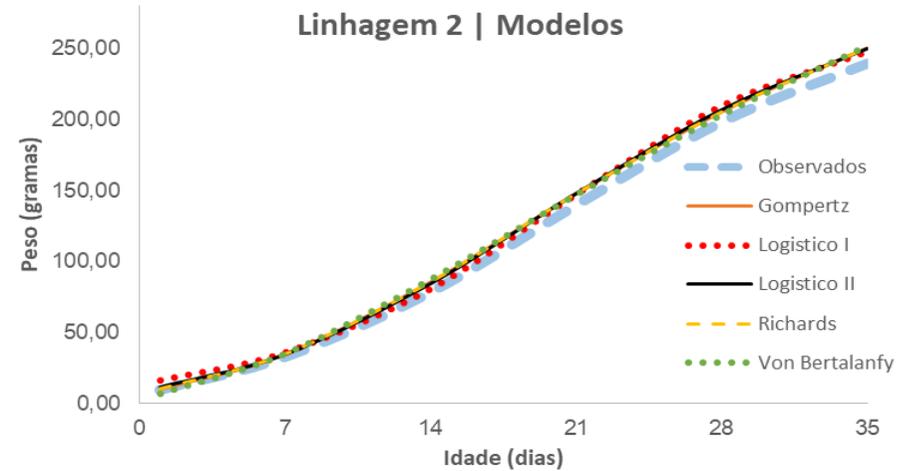


Figura 5 Estimativas do peso em função da idade ajustados pelos modelos escolhidos para cada linhagem (1 e 2), em ambos os sexos

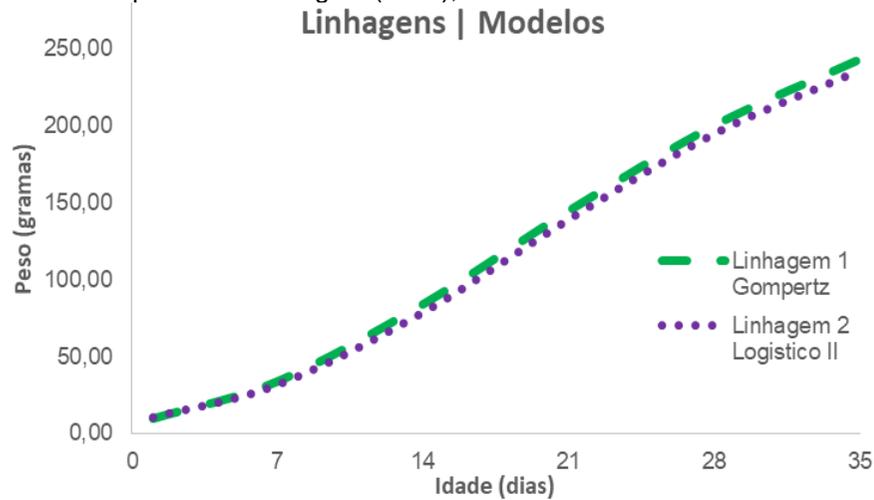
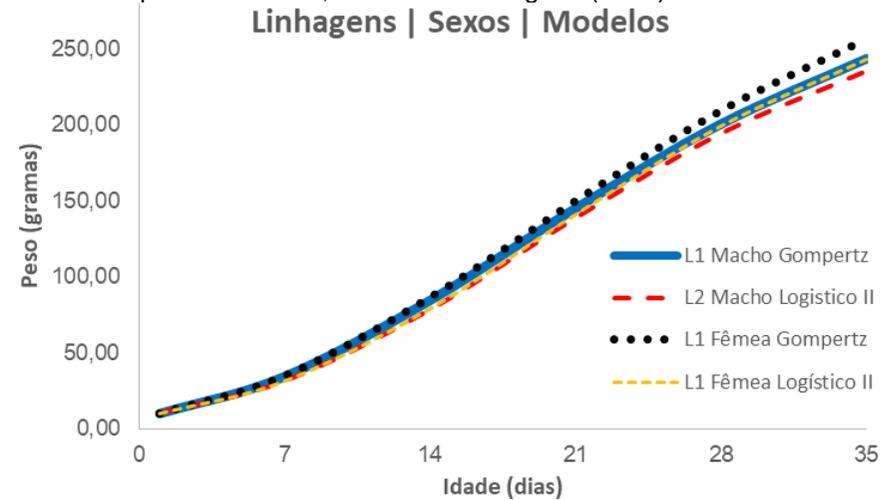


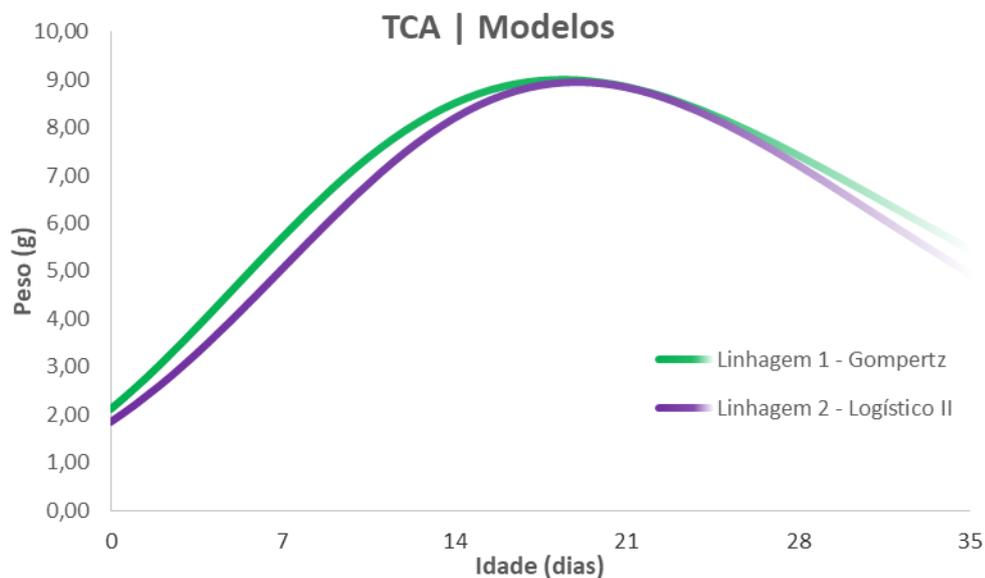
Figura 6. Estimativas do peso em função da idade ajustados pelos modelos escolhidos para cada sexo, em ambas linhagens (1 e 2)



Fonte: elaborado pela autora (2022)

As taxas de crescimento absoluto (TCA) para cada linhagem (1 e 2), obtidas pelas primeiras derivadas dos modelos de regressão não lineares Gompertz $\{ \partial y / \partial x_i = \beta_1 \beta_2 \beta_3 e^{-\beta_3 x_i} e^{-\beta_2 e^{-\beta_3 x_i}} \}$ e Logístico II $\{ \partial y / \partial x_i = \beta_1 \beta_3 \beta_4 e^{-\beta_3 x_i} (1 + e^{-\beta_2 x_i})^{-(\beta_3 - 1)} \}$, ambos em relação ao tempo estão apresentadas na Figura 7.

Figura 7. Taxas de crescimento absoluto (TCA) estimadas pelas funções Gompertz e Logísticas II, para cada linhagem, em codornas de corte criadas no Vale do Jequitinhonha e Mucuri



Fonte: elaborada pela autora (2022)

A TCA foi crescente até atingir o máximo, com aproximadamente $9,01 (\beta_1 \beta_3 e^{-1})$ g.dia⁻¹, sendo observados aos 18 dias de idade; e o momento em que a função muda de crescente para decrescente – ponto de inflexão (PI) da curva – foi atingido aos 14 (β_3^{-1}) dias de idade, com $124,71 (\beta_1 e^{-1})$ g para a linhagem 1 (modelo Gompertz). Já para a linhagem 2, na função Logístico II, o TCA também foi progressivo, em torno de $8,16 (\ln \frac{\beta_4}{\beta_3})$ g.dia⁻¹, analisados aos 14 dias de idade, e com PI aos 19 ($\beta_3^{-1} \ln \beta_4$) dias de idade, com $122,29 (\beta_1 (\beta_4 (\beta_4 + 1)^{-1})^{\beta_4})$ g. Consequentemente, o TCA decresceu com a idade em ambas funções para cada linhagem (1 e 2).

Os modelos ajustados aos dados, destacando que sexo não influenciou de maneira significativa nos parâmetros da curva média de crescimento animal, o modelo

Logístico apresentou melhor ajuste na descrição da curva de crescimento, levando em conta um acentuado decréscimo TCA (CARNEIRO *et al.*, 2009).

Alkan *et al.* (2009) estimaram idade e peso no ponto de inflexão usando o modelo de Gompertz para linhas selecionadas e controle. Relataram que os parâmetros mencionados na linha de seleção foram 15,68 dias e 113 g para fêmeas, e 17,64 dias e 108 g para codornas machos. Além disso, 18,27 dias e 82,3 g para codornas fêmeas, e 17,99 dias e 75 g para codornas machos foram encontrados para a linhagem controle. Os parâmetros da curva de crescimento de codornas podem ser afetados tanto pela seleção quanto pelas condições ambientais.

A idade e o peso no ponto de inflexão do modelo de Gompertz foram determinados em 25,05 dias e 105,84 g para codornas fêmeas, 21,20 dias e 81,96 g para codornas machos (GURCAN, 2018).

Os pontos de inflexão das curvas de crescimento em perus foram alcançados em uma idade mais jovem, e em um peso menor no sexo feminino do que no masculino (JUÁREZ-CARATACHEA *et al.*, 2019).

Em um estudo de ajuste de curva de crescimento com regressão não linear em frangos de corte, a idade e o peso no ponto de inflexão para Gompertz foram encontrados 32,4 dias e 1456 g nas fêmeas e 35,5 dias e 1908 g nos machos, respectivamente (KUCUKONDER *et al.*, 2019).

As análises de variância para cada um dos modelos Gompertz (linhagem 1) e Logístico II (linhagem 2) revelaram que os parâmetros β_1 e β_3 foram influenciados ($p < 0,05$) pelos efeitos ambientais de geração, mês e ano das mensurações das codornas de corte (Tabela 4).

Tabela 4. Peso assintótico (β_1) e taxa de maturidade (β_3) estimados pelos modelos de Gompertz na linhagem 1 e Logístico II para a linhagem 2, de acordo com o sexo (S), geração (G), mês (MM) e ano (MA) de mensurações em codornas de corte

Médias da estimativas dos parâmetros							
Gompertz → Linhagem 1			Logístico II → Linhagem 2				
Fonte de Variação	β_1	β_3	Fonte de Variação	β_1	β_3		
S	Macho	315,91 ^b	0,0785 ^b	S	Macho	304,54 ^b	0,0918 ^a
	Fêmea	327,08 ^a	0,0796 ^a		Fêmea	308,51 ^a	0,0909 ^b
G	1	317,45 ^d	0,0724 ^c	G	1	280,22 ^e	0,0949 ^c
	2	297,84 ^e	0,0833 ^a		2	350,18 ^a	0,0774 ^e
	3	360,74 ^a	0,0659 ^d		3	311,47 ^b	0,0858 ^d
	4	327,92 ^c	0,0786 ^b		4	306,13 ^c	0,0983 ^b
	5	332,52 ^b	0,0832 ^a		5	292,75 ^d	0,1102 ^a

MM	Abril	338,80 ^a	0,0692 ^c	MM	Abril	334,63 ^a	0,0863 ^b
	Agosto	311,79 ^c	0,0833 ^a		Agosto	292,23 ^c	0,0965 ^a
	Novembro	327,92 ^b	0,0786 ^b		Novembro	311,47 ^b	0,0858 ^b
MA	2012	302,81 ^c	0,0805 ^b	MA	2012	280,22 ^d	0,0949 ^c
	2013	337,40 ^a	0,0749 ^c		2013	325,24 ^a	0,0828 ^d
	2014	332,52 ^b	0,0832 ^a		2014	306,13 ^b	0,0983 ^b
	2015	n/a	n/a		2015	292,75 ^c	0,1102 ^a

Fonte: elaborada pela autora (2022). Valores seguidos de mesma letra dentro de cada fonte de variação, na coluna, não diferiram significativamente pelo teste Tukey ($p>0,05$)

A ocorrência mais precoce da β_3 foi observada em modelo não linear Gompertz, do que em função Logística, ou seja, implica que o primeiro modelo (Gompertz) é mais sensível à resposta de crescimento. O β_1 representa a resposta máxima de crescimento para os animais que são mais afetados pelos efeitos de ambiente (NARINÇ *et al.*, 2010).

As correlações negativas (Tabela 5) entre os parâmetros β_1 e β_3 avaliados nas linhagens 1 e 2 em codornas de corte, revelaram que estas aves amadurecem mais cedo, ou seja, possuem alta precocidade (ou taxa de crescimento), e baixas probabilidades de alcançar elevados pesos à maturidade (ou idade adulta), do que codornas que amadurecem mais devagar.

Tabela 5. Correlações fenotípicas entre as estimativas dos parâmetros de pesos corporais em duas linhagens de codornas de corte, acima da diagonal Pearson, e abaixo Spearman

Linhagem 1			Linhagem 2		
	β_1	β_3		β_1	β_3
β_1	1	-0,5894	β_1	1	-0,6429
β_3	-0,6022	1	β_3	-0,6449	1

Fonte: elaborada pela autora (2022)

Carneiro *et al.* (2009) observaram que o modelo Logístico apresentou melhor ajuste na descrição da curva de crescimento animal, com correlações entre os parâmetros β_1 e β_3 foram de moderadas à negativa, o que indica que os animais mais precoces tendem a baixas probabilidades de atingir pesos elevados à idade adulta.

Galeano-Vasco *et al.* (2014) encontraram valores divergentes a este postulado, em que o parâmetro β_1 foi igual a 0,957, indicando alta capacidade de prever o ganho de peso durante os períodos de crescimento em aves.

Resultados obtidos por Machado (2018) que avaliou o desempenho de aves nativas de corte em diferentes sistemas de criação corroboraram com este estudo, onde estes autores encontraram correlações negativas para as estimativas de parâmetro (β_1 : -0,46; β_3 : -0,57).

As correlações estimadas entre os parâmetros β_1 e β_3 são muito importantes, pois caracteriza o tipo de seleção animal empregada nos programas de melhoramento e também utilizada por produtores rurais. Além de atuar como uma poderosa ferramenta na definição do manejo a ser praticado, proporcionando que não somente para codornas de corte, mas para qualquer tipo de animal (monogástrico e/ou ruminante) exprima o seu padrão de crescimento corporal; e estes indivíduos serem avaliados através de estudos comparativos de modelos não lineares aos parâmetros da curva de crescimento.

CONCLUSÃO

A análise dos dados de crescimento corporal de codornas de corte, tanto para a linhagem 1 quanto na linhagem 2, para machos e fêmeas através funções não lineares depende diretamente da correta observação e do acompanhamento referente ao peso-idade; de modo que a falta de informações pode prejudicar as estimativas da curva e seus parâmetros.

Através dos avaliadores de ajuste (R^2_{ajus} , RMSE, AIC, BIC e DMA), os modelos não lineares mais adequados para descrever a curva de crescimento em duas linhas de codornas de corte foram o Gompertz (linhagem 1) e Logístico II (linhagem 2), em ambos os sexos, respectivamente.

A TCA atingiu o máximo para pesos para a linhagem 1, onde o modelo Gompertz, informou peso de 9,01 g.dia⁻¹ aos 18 dias de idade, com ponto de inflexão (PI) de 124,71 g aos 14 dias de idade; para a linhagem 2 para a função Logístico II, mostrou peso de 8,16 g.dia⁻¹ aos 14 dias de idade, e com PI de 122,29 g aos 19 dias de idade das codornas. Dessa forma, sugere-se implementar melhorias no manejo alimentar, visando incremento ao ganho de peso nessa fase.

As correlações estimadas entre os parâmetros β_1 e β_3 foram negativas para as duas linhagens (1 e 2) de codornas de corte, indicando que a seleção para maior precocidade implicará em aves com menor peso adulto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, A.A.A. **Aplicação de modelos lineares mistos com regressão quantílica na projeção do crescimento e produção de *Eucalyptus spp.*** 2020. 49 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba.

BRODY, S. **Bioenergetics and Growth**. New York: Reinhold, 1945.

CLIMATE-DATA. **Clima da cidade de Diamantina, Minas Gerais, Brasil**. Disponível: <<https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/minas-gerais/diamantina-25028/#climate-graph>>. Acessado em: 03/jul/2021.

CAMPIDELI, T.S. Desempenho dos cruzamentos de quatro linhagens de codornas de corte europeias. In: SIMPÓSIO MINEIRO DE PRODUÇÃO ANIMAL, 3; SEMANA DE ZOOTECNIA, 10, **Anais...**, Diamantina, 2015.

CARNEIRO, P.L.S. *et al.* Curva de crescimento em caprinos, da raça Mambrina, criados na caatinga. **Revista Brasileira de Saúde Produção Animal**, v.10, p.536-545, 2009.

COELHO, L.R. *et al.* Avaliação de curvas de crescimento para codornas japonesas. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, **Anais...**, São Paulo, 2018.

CUNHA, F.S.A. **Avaliação da mandioca (*Manihot esculenta crantz*) e subprodutos na alimentação de codornas (*Coturnix japonica*)**. 2009. 98 f. Tese (Doutorado Integrado em Zootecnia) - Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, 2009.

DRUMOND, E.S.C. *et al.* Curvas de crescimento para codornas de corte, **Ciência Rural**, v.43, n.10, p.1872-1877, 2013.

FIRAT, M.Z. *et al.* Bayesian analysis for the comparison of nonlinear regression model parameters: an application to the growth of Japanese quail. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, v.18, n.1, p.19-26, 2016.

FORNI, S. **Análise da curva de crescimento de bovinos da raça nelore utilizando funções não lineares em análises bayesianas**. 2007. 75 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Jaboticabal.

GAMITO, S. Growth models and their use in ecological modelling: an application to a fish population. **Ecological Modelling**, v.113, n.1-3, p.83-94, 1998.

GOMES, D.L.S. Efeito do balanço eletrolítico em dietas com redução protéica sobre parâmetros fisiológicos de poedeiras semi pesadas após pico de postura. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 47, **Anais...** Salvador, 2010.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e estatística. **Produção da Pecuária Nacional**, 2020. v.43, p.1-49. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/84/ppm_2015_v43_br.pdf. Acesso em: 10/ago./2020.

KAUR, S. *et al.* The performance of japanese quail (white breasted line) to dietary energy and amino acid levels on Growth and Immuno-competence. **Journal of Nutrition and Food Science**, v.5, n.4, p. 1-7, 2015.

LAIRD, A.K. Dynamics of relative growth. **Growth**, v.29, p.249-263, 1965.

LOPEZ, S. *et al.* A generalized Michaelis-Menten equation for the analysis of growth. **Journal of Animal Science**, v.78, p.1816-1828, 2000.

MELO, J.K.A. *et al.* Potencialidade e extensão da coturnicultura no município de São Bento do Una, Pernambuco. In: JORNADA DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO DA UFRPE, 12, **Anais...** Recife, 2013.

MELOUN, M.; MILITKY J. **Sbírka úloh, Statistické zpracování experimentálních dat**. Pardubice: Universita Pardubice. 1996.

MICHAELIS, L.; MENTEN, M. Die kinetik der invertinwirkung. **Journal Biochemistry**, v.49, p.333-369, 1913.

MORI, C. *et al.* Desempenho e rendimento de carcaça de quatro grupos genéticos de codornas para produção de carne. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v.34, n.3, p.870-876, 2005.

MUNIZ, J.C.L. *et al.* Metabolizable energy levels for meat-type quails at starter phase. **Brazilian Journal of Poultry Science**, v.20, n.2, p.197-202, 2018.

NELDER, J.A. The fitting of a generalization of the logistic curve. **Biometrics**, v.17, p89-110, 1961.

OLIVEIRA, J.A. *et al.* **Curvas de crescimento em caprinos da raça Alpina criados no semiárido nordestino**. In: OELKE, C.A.; MORAES, G.; GALATI, R.L. (Org.). Zootecnia: pesquisa e práticas contemporâneas. 1ed., Guarujá: Editora Científica Digital, v.2, p.64-82, 2021.

OLIVEIRA, C.F.S. *et al.* Mathematical models to describe the growth curves of white-egg layers. **Ciências Agrárias**, v.39, n.3, p.1327-1334, 2018.

OLIVER, F.R. Methods of estimating the logistic function. **Applied Statistics**, v.13, p57-66, 1964.

PHILLIPS, B.F.; CAMPBELL, N.A. A new method of fitting the von Bertalanffy growth curve using data on the whelk. **Growth**, v.32, p.317-329, 1968.

RIBEIRO, J.R. **Identidade de modelos não lineares e regressão aleatória para o estudo da curva de crescimento de codornas de corte em diferentes gerações sob seleção**. 2014. 69 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

RIBEIRO, M.J.B. *et al.* Choice of non-linear models to determine the growth curve of meat-type quail. **Ciência Rural**, v. 51, p.1-8, 2021.

RIBEIRO, M.J.B. **Curva de crescimento de codornas ajustadas por modelos não lineares**. 2020. 109 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Sergipe, Aracajú.

RICHARDS, F.J.A. Exible growth function for empirical use. **Journal of Experimental Botanic**, v.10, p.290-300, 1959.

ROCHA-SILVA, M. *et al.* Curva de crescimento de codornas de corte por meio de modelos de regressão não lineares. **Archives of Veterinary Science**, v.21, n.4, p.26-34, 2016.

RODRIGUES, A. *et al.* Avaliação da não-linearidade de modelos de crescimento via curvatura de Bates & Watts: aplicação em cordeiros da raça Bergamácia. In: RBRAS, 52; SEAGRO, 12, **Anais...**, Santa Maria, 2007.

SCHNUTE J. A versatile growth model with statistically stable parameters. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v.38, p.1128-1140, 1981.

SILVEIRA, F.G. **Classificação multivariada de modelos de crescimento para grupos genéticos de ovinos de corte**. 2010. 74 f. Dissertação (Mestrado em Estatística Aplicada e Biometria) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

SOUZA, L.A. *et al.* Traditional and alternative nonlinear models for estimating the growth of Morada Nova sheep. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.42, p.651-655 2013.

VON BERTALANFFY, L. Quantitative laws in metabolism and growth. **The Quantitative Review of Biology**, v.32, p.217-230, 1957.

WEN, Z.G. *et al.* Effects of low-proteindiets on growth performance and carcass yields of growing French meat quails (*France coturnix coturnix*). **Poultry Science**, Savoy, v.96, n.5, p.1364-1369, 2016.

WOOD, P.D.P. Algebraic model of the lactation curve in cattle. **Nature**, n.216, p.164-165, 1967.

YANG R.C.; KOZAK, A.; SMITH, J.H.G. The potential of Weibull-type functions as a flexible growth curves. **Canadian Journal of Forest Research**, v.8, p.424-431, 1978.

APÉNDICE

Localização e implementação do experimento.

