

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS JABOTICABAL**

**ESTUDO GENÉTICO-QUANTITATIVO DE
CARACTERÍSTICAS ASSOCIADAS À PRODUÇÃO DE
OVOS EM DUAS LINHAGENS DE CODORNAS DE
POSTURA (*Coturnix coturnix japonica*)**

Tádia Emanuele Stivanin
Zootecnista

2023

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS JABOTICABAL**

**ESTUDO GENÉTICO-QUANTITATIVO DE
CARACTERÍSTICAS ASSOCIADAS À PRODUÇÃO DE
OVOS EM DUAS LINHAGENS DE CODORNAS DE
POSTURA (*Coturnix coturnix japonica*)**

Tádia Emanuele Stivanin

Orientador: Prof. Dr. Danísio Prado Munari

Coorientador: Dr. Elias Nunes Martins

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Genética e Melhoramento Animal

2023

S862e Stivanin, Tádía Emanuele
Estudo genético-quantitativo de características associadas à produção de ovos em duas linhagens de codornas de postura (Coturnix Coturnix japonica) / Tádía Emanuele Stivanin. -- Jaboticabal, 2023
89 p. : tabs.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal
Orientador: Danisio Prado Munari
Coorientador: Elias Nunes Martins

1. Melhoramento genético. 2. Codorna japonesa. 3. Produção de ovos. I.
Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: ESTUDO GENÉTICO-QUANTITATIVO DE CARACTERÍSTICAS ASSOCIADAS À PRODUÇÃO DE OVOS EM DUAS LINHAGENS DE CODORNAS DE POSTURA (*Coturnix coturnix japonica*)

AUTORA: TÁDIA EMANUELE STIVANIN
ORIENTADOR: DANISIO PRADO MUNARI
COORIENTADOR: ELIAS NUNES MARTINS

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em Genética e Melhoramento Animal, pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. DANISIO PRADO MUNARI (Participação Virtual)
Departamento de Engenharia e Ciências Exatas DECEEx / FCAV UNESP Jaboticabal

Profa. Dra. SANDRA MARIA SIMONELLI (Participação Virtual)
Departamento de Zootecnia / Universidade Estadual de Londrina (UEL)

gov.br
Documento assinado digitalmente
SANDRA MARIA SIMONELLI
Data: 05/11/2023 07:33:27-0300
URL para verificação: https://verificacao.gov.br

Prof. Dr. SALVADOR BOCCALETTI RAMOS (Participação Virtual)
Departamento de Engenharia e Ciências Exatas DECEEx / FCAV UNESP Jaboticabal

Profa. Dra. SIMARA MÁRCIA MARCATO (Participação Virtual)
Departamento de Zootecnia / Universidade Estadual de Maringá (UEM) - Maringá/PR

gov.br
Documento assinado digitalmente
SIMARA MARCIA MARCATO
Data: 04/11/2023 08:28:31-0300
URL para verificação: https://verificacao.gov.br

Profa. Dra. SABRINA LUZIA CAETANO (Participação Virtual)
Departamento de Engenharia e Ciências Exatas DECEEx / FCAV UNESP Jaboticabal

Jaboticabal, 21 de novembro de 2023

DADOS CURRICULARES DA AUTORA

TÁDIA EMANUELE STIVANIN - nascida em 15 de julho de 1986, na cidade de Rondinha, Rio Grande do Sul. Filha de Inelva Stivanin e Olivar Stivanin. Iniciou sua graduação em Zootecnia em março de 2006, na Universidade do Estado de Santa Catarina – Udesc, Chapecó-SC e obteve o título de Bacharel em Zootecnia em dezembro de 2010. Em março de 2014 ingressou no curso de mestrado pelo programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná-UTFPR, Câmpus de Dois Vizinhos, na área de Produção Animal, com ênfase em Melhoramento Genético Animal, sob orientação do Prof. Dr. Elias Nunes Martins e coorientação da Profa. Dra. Fabiana Martins Costa Maia. Em outubro de 2016 ingressou na empresa Vicami Codornas como Zootecnista responsável pelo programa de Melhoramento Genético de Codornas de postura. Em março de 2020 ingressou no curso de doutorado pelo programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento Animal na Faculdade de Ciência Agrárias e Veterinárias, UNESP, Câmpus de Jaboticabal sob orientação da Prof. Dr. Danísio Prado Munari e coorientação do Dr. Elias Nunes Martins.

“Tenha sempre como meta muita força, muita determinação e sempre faça tudo com muito amor e com muita fé em Deus, que um dia você chega lá. De alguma maneira você chega lá!”

(Ayrton Senna)

Dedico

Aos meus pais Olivar e Inelva,

As minhas irmãs Rejane e Sandra,

Aos meus irmãos Rogério e Leovaner,

Ao meu noivo Adriano.

Obrigada por tudo!

Agradecimentos

A Deus pela vida, família, pela profissão que tanto amo e me proporcionar chegar até aqui.

Aos meus heróis, meus pais Olivar e Inelva, por todo amor, carinho, dedicação, pelos conselhos e ensinamentos, pelo exemplo de luta, força e sabedoria. Obrigada por estarem presentes em todas as etapas da minha vida e sempre me apoiarem. Amo muito vocês!

Aos meus irmãos (as) pelo amor, carinho, incentivo e apoio em todos os momentos da minha vida.

Ao meu noivo Adriano pelo amor, carinho, companheirismo, por estar ao meu lado e me apoiar em todos os momentos.

Ao meu orientador Prof. Dr. Danísio Prado Munari, pela oportunidade de trabalharmos juntos, pela orientação, amizade, ensinamentos, conselhos, pelas palavras sábias que tornaram momentos difíceis mais leves.

Ao meu Coorientador Dr. Elias Nunes Martins pelos ensinamentos, incentivo e por todo o conhecimento transmitido em minha jornada.

À empresa Vicami Codornas, em especial ao Sr. Osvaldo Esperança Rocha, a Tais Ramiro pela confiança em meu trabalho, pelo apoio na realização deste trabalho e por fornecer o banco de dados para realização deste trabalho.

Aos colaboradores do núcleo de melhoramento genético da empresa Vicami Codornas em especial ao Paulo Ricardo Borel e Vanessa Desto Dos Santos pela amizade, confiança, pela dedicação e responsabilidade dedicados ao trabalho que juntos desenvolvemos.

Aos amigos do grupo EAGMA em especial a Ana, Carol, Julia, Larissa e Rafael por todo auxílio prestado durante o doutorado.

À minha amiga Ana Carolina que sempre abriu as portas da sua casa para minha estadia em Jaboticabal e por todo auxílio prestado.

Aos meus amigos Ricardo Dutra do bem e Lorena Benfica pelo companheirismo, amizade, conversar descontraídas e toda ajuda no período do doutorado.

À minha amiga Sandra Maria Simonelli que sempre me incentivou a realizar o

doutorado, pela amizade, ensinamentos e auxílio.

À Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (Unesp) Campus Jaboticabal. Ao programa de Pós-graduação em Genética e Melhoramento Animal, professores e demais profissionais pela oportunidade e pela formação profissional e pessoal.

A todos que me incentivaram e que de alguma forma contribuíram com a realização deste trabalho, muito obrigada!

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

SUMÁRIO

Página

CAPÍTULO 1- CONSIDERAÇÕES GERAIS

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	2
2.1 HISTÓRICO DA COTURNICULTURA.....	2
2.2 COTURNICULTURA NO BRASIL	4
2.3 MELHORAMENTO GENÉTICO DE CODORNAS DE POSTURA NO BRASIL	5
2.4 MODELOS NÃO LINEARES	8
3. CONCLUSÃO	9
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	10

CAPÍTULO 2- ESTIMATIVA DE PARÂMETROS GENÉTICOS E AVALIAÇÃO DO PROGRESSO GENÉTICO DE DUAS LINHAGENS DE CODORNAS DE POSTURA SELECIONADAS PARA PRODUÇÃO DE OVOS

1. INTRODUÇÃO	18
2. MATERIAL E MÉTODOS	19
2.1 DESCRIÇÃO DAS LINHAGENS E MANEJO DAS AVES	19
2.2 DADOS FENOTÍPICOS	20
2.3 ESTIMAÇÃO DE PARÂMETROS GENÉTICOS E TENDÊNCIAS GENÉTICAS.....	21
3. RESULTADOS.....	24
4. DISCUSSÃO	38
5. CONCLUSÃO	48
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	48

CAPÍTULO 3 - AJUSTE DA CURVA DE PRODUÇÃO DE OVOS EM CODORNAS DE POSTURAS UTILIZANDO MODELOS NÃO LINEARES

1. INTRODUÇÃO	55
2. MATERIAL E MÉTODOS	57
2.1 ORIGEM DOS DADOS	57
2.2 MODELOS NÃO LINEARES	57
2.3 CRITÉRIO DE QUALIDADE DOS AJUSTES DOS MODELOS	57
3. RESULTADOS.....	60
4. DISCUSSÃO	68
5. CONCLUSÃO	73
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	73

ESTUDO GENÉTICO-QUANTITATIVO DE CARACTERÍSTICAS ASSOCIADAS À PRODUÇÃO DE OVOS EM DUAS LINHAGENS DE CODORNAS DE POSTURA (*Coturnix Coturnix japonica*)

Resumo: a contínua avaliação da variabilidade genética e fenotípica das linhagens de codornas poedeiras contribui para torná-las mais eficientes em produzir matrizes que possam atender as exigências dos produtores de ovos comerciais. Neste trabalho o objetivo geral foi caracterizar geneticamente e fenotipicamente duas linhagens de codornas de postura quanto as características relacionadas à produção de ovos e direcionar objetivos e procedimentos de seleção para o programa de melhoramento genético destas linhagens. Foram utilizados bancos de dados das linhagens L1 e L2 de codornas de postura pertencentes ao programa de melhoramento genético da empresa Vicami Codornas. As estimativas de componentes de variância, covariância e parâmetros genéticos foram obtidas por abordagem bayesiana utilizando o método de amostragem de Gibbs e o modelo animal. Registros fenotípicos e de pedigree de 1238 fêmeas da L1 e 1017 fêmeas da L2 foram utilizados para as análises unicaracterística e bicaracterística para a produção total de ovos, produção parcial, peso médio dos ovos e peso corporal em seis períodos consecutivos de produção. Para as características idade à maturidade sexual, peso do ovo e peso corporal à maturidade sexual foram utilizados registros de 1292 fêmeas da L1 e 1052 fêmeas da L2. Para ajustar curvas de produção de ovos em 31 semanas de postura foram considerados dez modelos não lineares. A qualidade do ajuste dos modelos foi avaliada por meio do critério de informação de Akaike, erro do modelo, erro quadrático médio e análise gráfica. As estimativas de herdabilidade para produção total foram 0,06 para L1 e 0,09 para L2. Para produção parcial, peso médio dos ovos e peso corporal no período parcial um as estimativas de herdabilidade foram 0,20; 0,68; 0,69 para L1 e 0,16; 0,56 e 0,78 para L2. Nestas linhagens o primeiro período parcial foi recomendado como critério de seleção para aumentar a produção de ovos. Os modelos Logístico I, Logístico II e Compartmental modificado apresentaram melhores ajustes para curvas de produção nas linhagens e permitiram melhor interpretação biológica da taxa de postura ajustada no pico de produção que foi de 97% e da taxa de persistência de produção de ovo 84% para L1. Para a L2 a taxa de postura ajustada no pico foi 98% e a taxa de persistência de produção foi 85%. Estes modelos podem ser utilizados para prever a curva de produção de ovos nas linhagens de codornas de postura, considerando a interpretação biológica dos seus parâmetros e os critérios de qualidade de ajustes.

Palavras-chave: codorna japonesa, melhoramento genético, produção de ovos

GENETIC-QUANTITATIVE STUDY OF CHARACTERISTICS ASSOCIATED WITH EGG PRODUCTION IN TWO LINEAGES OF LAYING QUAIL (*Coturnix coturnix japonica*)

ABSTRACT: Continuous evaluation of the genetic and phenotypic variability of laying quail lines enhances their efficiency in producing matrices that fulfill the demands of commercial egg producers. The primary aim of this study was to genetically and phenotypically analyze two laying quail strains with egg production traits to determine selection objectives and procedures for their genetic improvement program. The databases for the L1 and L2 laying quail lines of the Vicami Codornas breeding program were utilized. Our Bayesian approach, utilizing the Gibbs sampling method and the animal model, yielded estimates of variance components, covariance, and genetic parameters. Phenotypic and pedigree data from 1238 L1 females and 1017 L2 females were analyzed using single and two-characteristic methods to determine total egg production, partial egg production, average egg weight, and body weight across six consecutive production periods. Data from 1292 L1 females and 1052 L2 females were used to study age traits at sexual maturity, egg weight, and body weight at sexual maturity. Non-linear models were employed to fit egg production curves over 31 weeks. The quality of the models' fit was evaluated using several methods, including Akaike's information criterion, model error, mean square error, and graphical analysis. Heritability estimates for total production were found to be 0.06 for L1 and 0.09 for L2. Heritability estimates for partial production, average egg weight, and body weight during the partial period were 0.20, 0.68, and 0.69 for L1 and 0.16, 0.56, and 0.78 for L2. Based on these results, the first partial period is recommended as a selection criterion for increasing egg production. The Logistics I, Logistics II, and Modified Compartmental models exhibited the most suitable fit for the production curves in the strains. These models also enabled the best biological interpretation. The adjusted laying rate at peak production for L1 was 97%, with an egg production persistence rate of 84%. For L2, the adjusted peak laying rate was 98%, with a production persistence rate of 85%. These models can predict the egg production curve in laying quail strains by considering the biological interpretation of their parameters and the quality of fit criteria.

Keywords: japanese quail, genetic improvement, eggs production

CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

1. INTRODUÇÃO

A coturnicultura ocupa posição de destaque na avicultura nacional, por proporcionar rápido resultado econômico (Muniz *et al.* 2018). No Brasil, a coturnicultura destina-se principalmente a produção de ovos e o crescimento da atividade ocorreu em decorrência das características da espécie, como rápido desenvolvimento, baixo consumo de ração, precocidade sexual, altos índices produtivos, mudança de hábitos dos consumidores, aperfeiçoamento do manejo, nutrição, ambiência e desenvolvimento de novas tecnologias de produção também contribuíram para o desenvolvimento da atividade (Bertechini, 2016).

Codornas são criadas mundialmente para produção de ovos e carne, países como Canadá, Egito, Arábia Saudita, Índia, Estônia, Rússia, Singapura, Venezuela, Peru, Colômbia e Bolívia tem a atividade desenvolvida, no entanto, a produção comercial está concentrada em países como China, Espanha, França, Itália, Brasil, EUA e Japão (Lukanov, 2019). Conforme Lima *et al.* (2022) apesar do crescimento da atividade, ainda é difícil estimar o número de codornas envolvidas na avicultura industrial.

O melhoramento genético é um dos fatores que contribuiu para o aumento da produção e desenvolvimento da avicultura (Pereira, 2012). No entanto, no que diz respeito ao melhoramento genético de codornas de postura, o avanço alcançado ainda é restrito. Estudos realizados em alguns países mostram que vários procedimentos de seleção como seleção massal e seleção pelo pedigree tem sido utilizados para melhorar o desempenho de codornas e estimar parâmetros genéticos para características como produção e peso dos ovos, peso corporal (Hidalgo *et al.* 2011; Narinc *et al.* 2016; Durmuş *et al.* 2017; Stivanin *et al.* 2019). No entanto, existem poucas informações sobre programas de melhoramento genético de codornas em escala comercial.

No Brasil, poucas empresas são detentoras das linhagens comercializadas e poucas informações sobre as mesmas são conhecidas. Para aumentar a

produtividade, as decisões de seleção devem ser fundamentadas no conhecimento da estrutura genética das linhagens disponíveis no mercado (Teixeira *et al.* 2012, 2015). Assim, o objetivo geral desse trabalho foi:

- Objetivo geral: caracterizar geneticamente e fenotipicamente duas linhagens de codornas de postura quanto as características relacionadas à produção de ovos e direcionar objetivos e procedimentos de seleção para o programa de melhoramento genético destas linhagens.

2.REVISÃO DE LITERATURA

2.1 HISTÓRICO DA COTURNICULTURA

A representação mais antiga conhecida da codorna data de 2000 a.C nos hieróglifos do Antigo Império do Egito (Shanaway, 1994; FAO, 2000). O ancestral selvagem da codorna é uma ave migratória que passava o inverno no sul da China, Costa do Japão, Coréia e se reproduzia ao norte da China (Sánchez-Villagra, 2022). As codornas foram domesticadas no Japão no final do século XIX e início do século XX (Shanaway, 1994; Souza-Soares, 2005; Lukanov, 2019). Neste período, as codornas foram criadas como pássaros canoros em função do canto dos machos, para combate e como aves ornamentais (Shanaway, 1994; Mizutani, 2003; Chang *et al.* 2005; Lukanov e Pavlova, 2020).

As codornas foram utilizadas para produção de ovos e carne no início do século XX. As primeiras criações comerciais de codornas foram iniciadas em torno de 1900 no Japão, a partir do cruzamento de codornas selvagens e codornas oriundas da Europa formando a espécie doméstica (Pastore *et al.* 2012; Muniz *et al.* 2018). O plantel de codornas domésticas quase foi perdido durante a segunda guerra mundial. Nesse período, as aves foram utilizadas para alimentação. Após a segunda guerra mundial, o Japão reestabeleceu os plantéis comerciais de codornas a partir de aves domésticas restantes e possivelmente com a utilização de linhagens domesticadas da Coréia, China, Taiwan e codornas capturadas na natureza (Shanaway, 1994; Mizutani, 2003). Entre 1945 e 1955, as codornas foram exploradas pela primeira vez

como animais de laboratório e seu uso para fins de pesquisa tornou-se amplamente aceito na América do Norte e na Europa (Sánchez-Villagra, 2022).

As codornas Japonesas também chamadas codornas de postura pertencem à ordem Galliformes, família Phasianidae e ao gênero *Coturnix* (Mills *et al.* 1997). O ancestral da codorna domesticada é a codorna japonesa selvagem (Kovach, 1974; Chang *et al.* 2007). A seleção para aumentar a produção de ovos e tornar a espécie produtiva iniciou no período de 1907 a 1941 (Mills *et al.* 1997; Mizutani, 2003). Uma população com características de postura e carne, com produção superior a outras codornas em cativeiro foi criada no Japão (Donchev e Angelov, 1971 *apud* Lukanov, 2019). Acredita-se que pelo menos parte das linhagens de codornas modernas sejam derivadas das linhagens selecionadas para canto (Mills *et al.* 1997).

O processo de domesticação causou mudanças na morfologia, comportamento e produtividade, diferenciando a codorna de postura de seus ancestrais selvagens (Lukanov, 2019). A capacidade de postura é uma das principais características de produção influenciada pela domesticação e a seleção praticada para esta característica aumentou a produção de ovos (Lukanov e Pavlova, 2020). As codornas de postura podem produzir entre 250 a 300 ovos por ciclo produtivo, que é de aproximadamente um ano em comparação ao seu ancestral que produzia entre cinco e 14 ovos por ninhada (Chang *et al.* 2009; Muniz *et al.* 2018). Conforme Wilson *et al.* (1971) a idade média em que a maturidade sexual ocorria em codornas selvagens era de aproximadamente 59 dias. Enquanto a codorna domesticada apresenta maturidade sexual em média entre 36 e 42 dias de idade (Cheng *et al.* 2010; Mizutani, 2003).

O processo de seleção para diferentes características produtivas também causou mudanças no peso dos ovos e no peso corporal das aves. O peso dos ovos em codornas selvagens era de aproximadamente 6,93 gramas e para a codorna de postura entre 10,9 e 12 gramas. O peso corporal da codorna selvagem variava entre 85 a 110 gramas enquanto a codorna de postura apresenta peso entre 120 e 160 gramas (Wilson *et al.* 1971; Mizutani, 2003; Chang *et al.* 2009; Muniz *et al.* 2018).

2.2 COTURNICULTURA NO BRASIL

No Brasil, a introdução da codorna de postura foi iniciado por Oscar Molena (Murakami e Ariki, 1998; Souza-Soares e Siewerdt, 2005). O sucesso do empreendimento ocorreu devido a produção das aves, ao sabor do ovo e a curiosidade da população em consumir carne e ovos dessa ave (Souza-Soares e Siewerdt, 2005). Entre 1960 e 1970, o consumo de ovos de codorna foi impulsionado com o lançamento da música “ovo de Codorna” (Murakami e Ariki, 1998; Almeida *et al.* 2013). Desde então, a atividade passou a ter importância econômica no setor agropecuário.

A criação de codornas destina-se principalmente à produção de ovos e a espécie utilizada para este fim é a codorna de postura ou japonesa (*Coturnix coturnix japonica*). A aceitação do mercado consumidor, a modernização da indústria de processamento, a facilidade de acesso aos ovos e as características da espécie como rápido crescimento, alta produtividade e maturidade sexual precoce são alguns dos fatores que contribuíram para o desenvolvimento da atividade (Muniz *et al.* 2013; Bertechini, 2016).

Nos últimos anos ocorreu retração no número de aves e na produção de ovos de codornas no Brasil. Em 2020, o efetivo de aves apresentou decréscimo de 5,2% e no número de ovos produzidos de 6,2%, a principal razão para os decréscimos foram as restrições impostas pela pandemia, com o fechamento de restaurantes e festas (IBGE, 2020). O plantel efetivo de codornas no Brasil em 2022 foi 14,0 milhões de aves, com produção de 229,2 milhões de dúzias de ovos, redução de 8,2% em comparação ao ano de 2021 (IBGE, 2022).

A coturnicultura está estruturada em matrizeiros e produtores comerciais. Os matrizeiros são detentores do material genético e comercializam suas linhagens para os produtores comerciais, que produzem ovos para consumo, comercializados *in natura* ou processados. A produção comercial de ovos desenvolve-se em pequenas, médias e grandes explorações.

O nível tecnológico dos empreendimentos tornou-se elevado, exigindo que as linhagens comerciais produzam ovos em maior quantidade e qualidade. No entanto, ainda existem barreiras que limitam o crescimento do setor, dentre estas, destaca-se

o reduzido número de matrizeiros detentores das linhagens comercializadas, que restringe o mercado pela limitada oferta de pintainhas de um dia ou aves recriadas com 35 dias. Outro ponto a se considerar é a falta de conhecimento das características das linhagens fornecidas e comercialmente utilizadas.

2.3 MELHORAMENTO GENÉTICO DE CODORNAS DE POSTURA NO BRASIL

O Brasil dispõe de material genético e linhagens especializadas na produção de ovos de codorna. As empresas detentoras das linhagens, denominadas matrizeiros, mantêm programas de melhoramento genético nos quais todos os segmentos de produção estão localizados dentro da empresa. Em um único local são mantidos desde o núcleo de seleção até o rebanho multiplicador.

O rebanho núcleo de seleção é formado por linhagens puras nas quais é feita a colheita de dados fenotípicos para posterior avaliação genética e seleção dos melhores indivíduos para formação da futura geração. Após a reposição do núcleo de seleção, os melhores indivíduos constituem o segmento das bisavós em que as linhagens puras são multiplicadas para a formação das avós. A partir da multiplicação das aves pertencentes ao segmento das avós é formado o rebanho multiplicador, em que é feito o cruzamento das linhagens puras para a formação da linhagem comercial (Oldenbroek e Liesbeth, 2014).

A primeira decisão a ser tomada ao propor um programa de melhoramento genético é definir objetivos e critérios de seleção (Kinghorn *et al.* 2006). A definição dos objetivos depende do conhecimento do sistema de produção, da demanda do mercado e do conhecimento das características economicamente importantes. O critério de seleção é o meio utilizado para se atingir o objetivo de seleção.

Em codornas de postura, as características que podem ser utilizadas como critérios de seleção são a idade ao primeiro ovo, número de ovos produzidos em um ciclo de postura, longevidade da produção, peso médio dos ovos, qualidade da casca e o peso corporal da ave. A seleção também pode ser baseada na produção de ovos em uma parte do ciclo de postura e nos pesos médios dos ovos e peso corporal da ave neste período (Martins, 2015).

O desenvolvimento de linhagens implica no conhecimento das estimativas de parâmetros genéticos para as características de interesse econômico, de modo a orientar e direcionar a seleção a ser praticada, evidenciar como as características estão geneticamente relacionadas e como a seleção de uma característica pode influenciar as demais. O desempenho quanto a produção e o peso médio dos ovos determina a capacidade dos matrizeiros em fornecer pintainhas para comercialização.

É desejável aumentar o número de ovos e melhorar a persistência de postura, enquanto que o peso médio dos ovos deve seguir padrão comercialmente adequado para indústria de processamento. O aumento exagerado no peso dos ovos pode aumentar o índice de prolapso e conseqüentemente aumentar a mortalidade das aves. O peso corporal das aves deve ser baixo refletindo em menor custo com alimentação (Stivanin *et al.* 2019).

Parâmetros genéticos para as características produção total de ovos, peso dos ovos e peso corporal da ave foram investigados em linhagens de codornas de postura disponíveis no Brasil. As estimativas de herdabilidade e respectivos intervalos de credibilidade, entre parênteses, para produção total de ovos possuem alta amplitude variando entre 0,05 (0,05 - 0,06) a 0,96 (0,92 - 1,00), assim como para peso dos ovos que variaram entre 0,11 (0,11 - 0,12) a 0,70 (0,50 - 0,81). Para peso corporal as estimativas de herdabilidade variaram entre 0,51(0,48 - 0,54) a 0,60 (0,47 - 0,75). As estimativas de correlações genéticas entre produção total e peso dos ovos variaram 0,45 (0,41 - 0,49) e 0,58 (0,17- 0,87); entre produção de ovos e peso corporal 0,44 (0,44 - 0,48) e 0,50 (0,46 - 0,54); entre peso corporal e peso dos ovos de nula a 0,53 (0,33 - 0,64) (Hidalgo *et al.* 2011; Stivanin *et al.* 2019). Parâmetros genéticos são específicos de uma população e podem ser influenciados pelo método de estimação, pela seleção, condições ambientais e manejo (Falconer e Mackay, 1996), o que explica a variação encontrada nas magnitudes das estimativas.

Ao avaliar o peso corporal de codornas de postura de uma a seis semanas de idade foram estimadas herdabilidade entre 0,13 (0,047) e 0,19 (0,052) (Saatci *et al.* 2006). Estimativas de herdabilidade de 0,36 e 0,44 foram relatadas para peso corporal na segunda e quarta semanas de idade (Özsoy e Aktan 2011). Estimativa de herdabilidade de 0,48 para peso corporal da ave em 12 semanas de idade (Lotfi *et al.* 2012). Assim seria possível obter ganho genético ao selecionar as aves para esta

característica.

Os programas de melhoramento genético buscam aumentar o número de ovos produzidos no período total de postura para melhorar a eficiência produtiva da aves. No entanto, a seleção pelo período total de produção pode aumentar o intervalo de gerações e a identificação de animais superiores passa a ocorrer no final do ciclo de postura, quando as aves apresentam menor eficiência reprodutiva (Teixeira *et al.* 2013; Stivanin *et al.* 2019). Para os matrizeiros, a seleção com base no período total da produção de ovos limita o número de pintainhas disponíveis para produção de matrizes.

Para aumentar a produção total de ovos a seleção pode ser feita pelo período parcial de produção de ovos. A utilização do período parcial depende da resposta correlacionada com o período total de produção. Se a correlação genética entre período parcial e período total de produção é alta, a escolha do período parcial como critério de seleção pode contribuir para diminuir o intervalo de gerações (Lopes, 2005). Stivanin *et al.* (2019) estimaram correlações genéticas entre 0,47(0,43 – 0,52) e 0,53 (0,50 – 0,57) entre produção parcial (primeiros 60 dias de postura) e total de ovos (150 dias de postura) em uma geração para as linhagens L1 e L2 de codornas de postura. Os autores calcularam a eficiência relativa de seleção para avaliar a seleção indireta para produção total de ovos em função da seleção pelo período parcial. A eficiência relativa de seleção no período parcial foi 1,87 para L1 e 0,90 para L2. Na L1 a utilização do período parcial como critério de seleção apresentou melhor eficiência relativa de seleção ao uso do período total de produção de ovos, diminuiu o intervalo de gerações e permitiu praticar mais de uma seleção ao ano, disponibilizando número maior de matrizes para produção de pintainhas comercializadas. Para a L2 o mesmo critério de seleção foi adotado.

O desenvolvimento de linhagens de codornas especializadas em produzir ovos, ocorre por meio da seleção e do cruzamento. A seleção tem como objetivo elevar a performance dos animais, determinar quais animais geneticamente superiores serão utilizados como reprodutores na formação da futura geração, quantas progênes produzirão e quanto tempo permanecerão na população selecionada (Martins, 2002). A avaliação genética é realizada com base nas informações de desempenho e pedigree dos candidatos a seleção e seus parentes. Por meio de análises

considerando modelo animal, os valores genéticos são preditos e os animais são classificados e selecionados.

O cruzamento ocorre entre diferentes linhagens de codornas de postura e tem como objetivo explorar a heterose e recuperar os efeitos da endogamia (Falconer e Mackay 1996). A resposta a heterose é maior em características com baixa herdabilidade assim o vigor híbrido é alto em características reprodutivas como a produção de ovos, fertilidade, sobrevivência, adaptação e longevidade de produção (Pereira, 2012; Martins, 2015). Em razão disso, as linhagens comerciais de codornas apresentam melhor performance quando formadas por aves híbridas, originadas do cruzamento entre linhagens, selecionadas ou não para características que se complementam (Martins 2003, 2015). De acordo com o autor, a superioridade dos híbridos depende das condições adequadas de criação em termos de ambiência, nutrição e manejo que possibilitem a expressão do seu potencial genético.

2.4 MODELOS NÃO LINEARES

A produção de ovos aumenta até o pico de postura e diminui com a idade das aves em função da persistência de postura durante o ciclo produtivo de ovos. A curva de produção de ovos fornece uma representação gráfica do desempenho individual ou de uma linhagem ao longo do ciclo de produção. O ajuste da curva de produção de ovos é mais indicado por meio do uso de modelos não lineares, que possuem parâmetros com interpretação biológica que auxiliam na sua compreensão (Savegnago *et al.* 2011) e podem ser considerados nas definição de estratégias de manejo.

O ajuste da curva de produção de ovos ainda é pouco conhecido em codornas de postura selecionadas para aumentar a produção de ovos e foi anteriormente descrito (Minville *et al.* 2000; Narinc *et al.* 2013; Alshaheen 2017). A utilização de modelos não lineares permite detalhar o ciclo de produção, comparar diferentes curvas e fazer predição da produção total de ovos (Gavora *et al.* 1982; Fialho e Ledur, 1997). Muitos modelos não lineares foram ajustados para descrever curvas de lactação em bovinos de leite, crescimento em aves de corte e para ajustar curvas de

produção de ovos em aves poedeiras (Brody *et al.* 1945; Von Bertalanffy, 1957; Nelder, 1961; Yang, 1989).

O estudo da curva de produção de ovos é importante para compreender o ciclo de produção de uma população (McMillan *et al.* 1986). Minveille *et al.* (2000) estudaram linhagens de codornas Japonesas avaliadas para produção de ovos durante 21 meses. Os autores utilizaram o modelo compartmental modificado e estimaram que o pico de produção de ovos ocorreu aos três meses de idade das aves. Narinc *et al.* (2013) utilizaram os modelos não lineares de Gama, McNally, Adams-Bell e Compartmental modificado para descrever a variação da produção de ovos durante 52 semanas a partir da idade a maturidade sexual em codornas de postura não selecionadas. Os autores verificaram que a idade à maturidade sexual ocorreu aos 38,9 dias quando as aves fizeram postura do primeiro ovo, que o pico de produção foi de 94% e este ocorreu na 15ª semana de idade das aves, que correspondeu a nona semana de produção. Alshaheen (2017) utilizou o modelo não linear de Wood para avaliar o ciclo de produção e o peso de ovos em codornas de postura. Neste trabalho o pico de produção ocorreu na quarta semana de produção e o peso máximo dos ovos ocorreu entre a quinta e sexta semanas de produção de ovos. Diferenças no ajuste das curvas de produção de ovos se justificam pelas diferenças genéticas entre as linhagens de codornas e pelas dietas e manejo. Assim, cada linhagem de codornas de postura deve ter sua curva de produção de ovos conhecida.

3. CONCLUSÃO

Programas de melhoramento genético são fundamentais para melhorar as características produtivas e reprodutivas das aves e elevar a eficiência econômica dos empreendimentos agropecuários. No Brasil, existem programas de melhoramento genético de codornas de postura desenvolvidos com embasamento técnico em que as linhagens são especializadas em produzir ovos e são desenvolvidas por meio da seleção considerando a avaliação genética realizada por meio da aplicação da teoria dos modelos mistos. No entanto, ainda não existem investimentos em programas comerciais de melhoramento genético com especialização de tarefas, que poderia resultar em melhor eficiência produtiva das aves e melhor resultado econômico para

as empresas detentoras da genética disponibilizada. Além disso, poucas informações sobre as linhagens comerciais são disponibilizadas para os produtores comerciais.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida TJO, Araújo VV, Da Silva VA, Silva RF, Santos NA, Santana MD, Oliveira VP (2013) Evolução da Produção de Codornas Para Abate e Postura no Brasil. XIII Jornada de Ensino, Pesquisa e Extensão UFRPE: Recife.

Alshaheen SA (2017) Analysis Egg Production and Egg Weight Curves by Two Mathematical Models in Japanese Quail (*Coturnix.C. Japonica*). **Iraqi Journal Poultry Science** 11:1: 58-68

Bertechini AG (2016) Situação atual e perspectivas para a coturnicultura no Brasil. In: VI Simpósio Internacional e V Congresso de coturnicultura. **Anais**. Lavras.

Brody, S (1945) **Bioenergetics and growth**. New York: Reinhold Publishing Corporation, 1023.

Chang GB, Chang H, Liu XP, Xu W, Wang HY, Zhao WM, Olowofeso O (2005) Developmental research on the origin and phylogeny of quails. **World's Poultry Science Journal** 61 (1): 105–12. <https://doi.org/10.1079/WPS200346>.

Chang GB, Chang H, Liu XP, Zhao WM, Ji DJ, Mao YJ, Song GM, Shi XK (2007) Genetic Diversity of Wild Quail in China Ascertained with Microsatellite DNA Markers. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences** 20 (12): 1783–90. <https://doi.org/10.5713/ajas.2007.1783>.

Chang GB, Liu XP, Chang H, Chen GH, Zhao WM, Ji DJ, Chen R, Qin YR, Shi XK, Hu GS (2009) Behavior differentiation between wild Japanese quail, domestic quail, and their first filial generation. **Poultry Science** 88 (6): 1137–42. <https://doi.org/10.3382/ps.2008-00320>.

Durmuş I, Alkan S, Nariç D, K. Karabağ K, Karsli T (2017) Effects of mass selection on egg production on some reproductive traits in Japanese quail. **European Poultry Science** 81 DOI: 10.1399/eps.2017.168

FAO (2000). In: SCHERF, B.D. World Watch List for domestic animal diversity, 3th edition, pp. 3-37 (Rome, Food and Agriculture Organisation of the United Nations). <https://www.fao.org/3/x8750e/x8750e.pdf>.

Falconer DS, Mackay TFC (1996) **Introduction to quantitative genetics**. 4^a edition. Edinburgh, Longman Group Limited. 464.

Fialho FB, Ledur MC (1997) Segmented polynomial model for estimation of egg production curves in laying hens. **British Poultry Science** 38:66-73.

Gavora JS, Liljedahl LE, Mcmillan I, Ahlen K (1982) Comparison of three mathematical models of egg production. **British Poultry Science** 23: 339-348.

Hidalgo AM, Martins EN, Dos Santos AL, De Quadros TCO, Ton APS, Teixeira R (2011) Characterization of egg weight, egg production and age at first egg in quails. **Revista Brasileira de Zootecnia** 40 (1): 95-99. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982011000100013>.

IBGE (2020). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção da pecuária municipal 2020. <http://www.agricultura.gov.br>.

IBGE (2022). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção da pecuária municipal 2022. <http://www.agricultura.gov.br>.

Kinghorn B, Werf JVD, Ryan M (2006) **Melhoramento animal: uso de novas tecnologias**. 367 p.

Kovach JK (1974) The Behaviour of Japanese Quail: Review of Literature from a Bioethological Perspective. **Applied Animal Ethology** 1 (1): 77–102. [https://doi.org/10.1016/0304-3762\(74\)90010-8](https://doi.org/10.1016/0304-3762(74)90010-8).

Lima HJD, Morais MVM, Pereira IDB (2022) Updates in research on quail nutrition and feeding: a review. **World's Poultry Science Journal** 79:1, 69-93. DOI: 10.1080/00439339.2022.2150926

Lotfi E, Zerehdaran S, Azari MA (2012) Estimation of genetic parameters for egg production traits in Japanese quail (*Coturnix cot. japonica*) **European Poultry Science Archiv Für Geflügelkunde**. 76 (2). S. 131- 135.

Lopes OS, Pires AV, Filho JCR, Torres RA (2005) Teoria do melhoramento animal. FEPMVZ. Belo Horizonte. 118.

Lukanov H (2019) Domestic Quail (*Coturnix Japonica Domestica*), Is There Such Farm Animal? **World's Poultry Science Journal** 75 (4): 547–58. <https://doi.org/10.1017/S0043933919000631>

Lukanov H, Pavlova I (2020) Domestication Changes in Japanese Quail (*Coturnix Japonica*): A Review". **World's Poultry Science Journal** 76 (4): 787–801. <https://doi.org/10.1080/00439339.2020.1823303>.

Martins EM (2002) Perspectivas do melhoramento genético de codornas no Brasil. In: Simpósio Internacional de Coturnicultura. **Anais**. Ufla. 109-112. <http://sbmaonline.org.br/anais/iv/palestras/pdfs/ivp05.pdf>.

Martins EN (2003) Estratégias para manutenção de pequenas populações sob seleção. In: I Simpósio de Produção de Perdizes (*Rhynchotus rufescens*) em Cativeiro. **Anais**. Jaboticabal - SP: UNESP. (1): 1-7.

Martins EN (2015) Melhoramento Genético de Codornas de Postura. XII Curso de Atualização em Avicultura para Postura Comercial. **Anais**. Unesp/Fcav. 81-86.

Minvielle F, Monvoisin JI, Costa J, Maeda Y (2000) Long term egg production and heterosis in quail lines after within line or reciprocal recurrent selection for high early egg production. **British Poultry Science** 41:150-157.

Mills AD, Crawford LL, Domjan M, Faure JM (1997) The Behavior of the Japanese or Domestic Quail *Coturnix Japonica*. **Neuroscience & Biobehavioral Reviews** 21 (3): 261–81. [https://doi.org/10.1016/S0149-7634\(96\)00028-0](https://doi.org/10.1016/S0149-7634(96)00028-0).

Murakami AE, Ariki J (1998) **Produção de codornas japonesas**. Jaboticabal: Funep 79.

Muniz JCL, Silva AD, Tizziani T, Albino LFT, Barreto SLT (2018) **Criação de Codornas para produção de ovos e carne**. Aprenda fácil. 277.

Mizutani M (2003) **The Japanese Quail**. Laboratory Animal Research Station, Nippon Institute for Biological Science, Kobuchizawa, Yamanashi, Japan. 408.

McMillan I, Gowe RS, Gavora JS, Fairfull RW (1986) Prediction of annual production from part record egg production in chickens by three mathematical models. **Poultry Science** 65:817– 822.

Narinc D, Karaman E, Aksoy T, Firat MZ (2013) Investigation of nonlinear models to describe long-term egg production in Japanese quail. **Poultry Science** 92: 6, 1676-1682. <https://doi.org/10.3382/ps.2012-02511>.

Narinc D, Aksoy T, Kaplan S (2016) Effects of Multi-Trait Selection on Phenotypic and Genetic Changes in Japanese Quail (*Coturnix coturnix japonica*). **Journal Poultry Science** 53(2), 103-110. doi: 10.2141/jpsa.0150068.

Nelder JA (1986) The fitting of a generalization of the logistic curve. **Biometrics** 17: 89-110.

Oldenbroek K, Liesbeth, WVD (2014). Textbook animal breeding: animal breeding and genetics for BSc students.

Özsoy NA, Aktan S (2011) Estimation of Genetic Parameters for Body Weight and Egg Weight Traits in Japanese Quails. **Trends in Animal & Veterinary Sciences Journal** 2 (1):17-20. <https://www.semanticscholar.org/paper/Estimation-of-Genetic-Parameters-for-Body-Weight-in-Ozsoy-Aktan/4a8f31f755fc62e024f121472651ee0edab366ea#paper-header>.

Pastore SM, Oliveira WP, Jorge Cunha Lima Muniz JCL (2012) Panorama da coturnicultura no Brasil. **Revista eletrônica nutritime** 9 (6): 2041-2049. <https://nutritime.com.br/artigo-180-panorama-da-coturnicultura-no-brasil>.

Pereira JCC(2012) **Melhoramento genético aplicado à produção animal**. Fepmvz. 758.

Saatci M, Omedh H, Dewi IA (2006) Genetic Parameters from Univariate and Bivariate Analyses of Egg and Weight Traits in Japanese Quail. **Poultry Science** 85 (2): 185–190. <https://doi.org/10.1093/ps/85.2.185>.

Sánchez-Villagra MR (2022) **The Process of Animal Domestication**. Princeton: Princeton University Press.

Savegnago RP, Nunes BN, Caetano SL, Ferraudo AS, Schmidt GS, Ledur MC, Munari DP (2011) Comparison of logistic and neural network models to fit to the egg production curve of White Leghorn hens. **Poultry Science** 90, 3, 705-711 <https://doi.org/10.3382/ps.2010-00723>.

Souza-Soares LA, Frank Siewerdt F (2005) **Criação de Codornas. Aves e ovos**. Pelotas: UFPEL, 35-43.

Stivanin TE, Costa Maia FM, Migliorini E, Kluska S, Amorim ST, Lovatto FS, Martins EM (2019) Evaluation of selection criteria in laying quail (*Coturnix japonica*). **Livestock Research for Rural Development**. 31 (9). <http://www.lrrd.org/lrrd31/9/tstiv31142.html>

Shanaway MM (1994) Quail production systems: A review. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. https://www.google.com.br/books/edition/Quail_Production_Systems/-MSy78He6-wC?hl=pt-BR&gbpv=1&dq=inauthor%3A%22M.%20M.%20Shanawany%22&pg=PP1&printsec=frontcover.

Teixeira BB, Teixeira RB, Silva LP, Torres RA, Caetano GC, Euclides RF (2012) Estimação dos componentes de variância para as características de produção e de qualidade de ovos em matrizes de codorna de corte. **Ciência Rural** 42, (4). 713-717. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782012000400023>.

Teixeira BB, Euclides RF, Teixeira RB, Silva LP, Torres RA, Silva FG, Lehner HG, Caetano GC (2013). Herdabilidade de características de produção e postura em matrizes de codornas de corte. **Ciência Rural** 43 (2). 361-365. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782013000200028>. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782013000200028>.

Von Bertalanffy LV (1957) Quantitative laws in metabolism and growth. **The Quarterly Review of Biology** 32: 217-230.

Wilson W, Anderson B, Siopes TD (1971) Importation of Wild Strain Japanese Quail (Wild Coturnix) Offers New Game Bird Possibility. **California Agriculture** 25 (7): 5-6.

Yang N, Wu C, McMillan I (1989) New mathematical model of poultry egg production. **Poultry Science** 68:476-481.

CAPÍTULO 2 - ESTIMATIVA DE PARÂMETROS GENÉTICOS E AVALIAÇÃO DO PROGRESSO GENÉTICO DE DUAS LINHAGENS DE CODORNAS DE POSTURA SELECIONADAS PARA PRODUÇÃO DE OVOS

RESUMO: estimativas de parâmetros genéticos são específicos de uma população e devem ser recalculados periodicamente para acompanhar as variações no ciclo produtivo e orientar as decisões de seleção. Os objetivos deste trabalho foram estimar parâmetros genéticos e fenotípicos, eficiência relativa de seleção e tendências genéticas para as características relacionadas a produção de ovos de duas linhagens de codornas poedeiras (L1 e L2) sob seleção. Além disso, foi proposto reavaliar os critérios de seleção utilizados no programa de melhoramento genético de ambas as linhagens. O banco de dados foi cedido pela empresa Vicami Codornas e é constituído de registros fenotípicos e de pedigree de 1238 fêmeas da L1 e 1017 fêmeas da L2 para as características produção total e parcial de ovos, peso médio dos ovos e peso corporal em seis períodos parciais. Para as características idade à maturidade sexual, peso corporal e peso dos ovos a maturidade sexual foram utilizados registros de 1292 fêmeas da L1 e 1052 fêmeas da L2. Foram realizadas análises unicaracterística e bicaracterística em cada linhagem. As estimativas de componentes de variância, covariância e parâmetros genéticos foram obtidas por meio da abordagem bayesiana utilizando o método de amostragem de Gibbs utilizando o modelo animal. As tendências genéticas foram estimadas a partir da regressão linear simples dos valores genéticos preditos em função geração de nascimento. A eficiência relativa de seleção foi calculada para verificar o efeito da seleção indireta para produção total de ovos a partir da seleção aplicada sobre a produção parcial de ovos. As estimativas de herdabilidade para produção total foram 0,06 para L1 e 0,09 para L2. Para produção parcial nos primeiros 60 dias de postura, peso médio dos ovos e peso corporal no PP1, as estimativas de herdabilidade foram 0,20; 0,68; 0,69 para L1 e 0,16; 0,56 e 0,78 para L2. Para os demais períodos parciais as estimativas de herdabilidade para produção parcial variaram entre 0,02 - 0,09 na L1 e entre 0,02 - 0,12 na L2. Para peso corporal as estimativas de herdabilidade variaram entre 0,54 - 0,66 na L1 e entre 0,46 - 0,68 na L2. Para peso médio dos ovos entre 0,55 - 0,65 na L1 e entre 0,36 - 0,54 na L2. A eficiência relativa de seleção foi 1,55 para L1 e 0,85 para L2 no primeiro período parcial. A tendência genética indicou que o peso médio dos ovos diminuiu 0,002 gramas para a L1. Para a L2 a produção aumentou 0,012 ovos e diminuiu 0,05 gramas para o peso corporal a cada geração de seleção. Para as linhagens deste estudo foi mantida a recomendação do uso do primeiro período parcial de produção de ovos como critério de seleção. Este período permite manter o intervalo de gerações e a realização de duas gerações de seleção ao ano.

Palavras-chave: produção de ovos, parâmetros genéticos, tendência genética

CHAPTER 2 - ESTIMATION OF GENETIC PARAMETERS AND EVALUATION OF THE GENETIC PROGRESS OF TWO LINEAGES OF LAYING QUAIL SELECTED FOR EGG PRODUCTION

ABSTRACT: estimates of genetic parameters are population-specific and should be recalculated periodically to monitor variations in the production cycle and to guide selection decisions. This study aims to estimate genetic and phenotypic parameters, relative selection efficiency, and genetic trends for egg production traits in two lines of selected laying quails (L1 and L2). According to proposals, the genetic improvement program's selection criteria for both strains require re-evaluation. Technical term abbreviations will be explained upon first use. Biased language will be avoided. The database of phenotypic and pedigree records for 1238 L1 females and 1017 L2 females was provided by Vicami Codornas. It includes total and partial egg production data, average egg weight, and body weight over six partial periods. For the characteristics of age at sexual maturity, body weight, and egg weight at sexual maturity, data from 1292 L1 females and 1052 L2 females were utilized. Univariate and bivariate analyses were conducted for each lineage. The Bayesian approach with the Gibbs sampling method and animal model was employed to acquire estimates of variance components, covariance, and genetic parameters. Simple linear regression was used to estimate genetic trends based on predicted genetic values by generation of birth. Relative selection efficiency was calculated to verify the effect of indirect selection on total egg production from partial egg production selection. Heritability estimates for total production were 0.06 for L1 and 0.09 for L2. During the first 60 days of laying, heritability estimates for average egg weight and body weight in first partial term were 0.20, 0.68, and 0.69 for L1 and 0.16, 0.56, and 0.78 for L2. For other partial periods, heritability estimates for partial production ranged from 0.02 to 0.09 in L1 and 0.02 to 0.12 in L2. Heritability estimates for body weight varied between 0.54 and 0.66 in L1 and between 0.46 and 0.68 in L2. The average weight of eggs was between 0.55 - 0.65 grams in L1 and between 0.36 - 0.54 grams in L2. In first partial term, the relative selection efficiency was found to be 1.55 for L1 and 0.85 for L2. Based on genetic trends, it was determined that the average egg weight decreased by 0.002 grams for L1, whereas for L2, production increased by 0.012 eggs and body weight decreased by 0.05 grams with each generation of selection. The study concluded that using the first partial egg production period as a selection criterion is recommended for the strains examined. This time frame enables the maintenance of the generation interval and allows for two years of selection.

Keywords: egg production, genetic parameters, genetic trend

1. INTRODUÇÃO

Programas de melhoramento genético tem como propósito produzir animais geneticamente superiores. Em codornas de postura, busca-se melhorar a eficiência produtiva das linhagens e aumentar o número de ovos produzidos. Para tanto, é aplicada a seleção, que permite que a cada geração aves geneticamente superiores sejam utilizadas como reprodutores na formação da futura geração. A importância da seleção em codornas de postura consiste em elevar a produção de ovos das linhagens e permitir a produção de maior número de pintainhas para produção de matrizes e, a partir do cruzamento das linhagens, produzir número de pintainhas capaz de atender a demanda de produção de ovos do mercado.

A seleção para aumentar o número de ovos se baseia no número de ovos produzidos no período total de postura. No entanto, a seleção das aves pelo período total de produção descreve toda a variação que ocorre durante o ciclo produtivo, mas aumenta o intervalo de gerações e a seleção ocorre ao término do ciclo de produção quando as aves apresentam baixa eficiência reprodutiva (Teixeira *et al.* 2013). Para aumentar a produção total de ovos, a seleção pode ser feita pelo período parcial de produção de ovos (Poggenpoel *et al.* 1996). A utilização do período parcial depende da resposta correlacionada com o período total de produção. Se a correlação genética entre período parcial e período total de produção for alta, a escolha do período parcial para seleção pode contribuir para diminuir o intervalo de gerações (Lopes 2005).

O acompanhamento da variação fenotípica que ocorre durante o ciclo produtivo das aves permite conhecer as linhagens e estimar os parâmetros genéticos que são importantes para orientar, conduzir e avaliar o processo de seleção utilizado no programa de melhoramento. As estimativas de herdabilidade são específicas de uma população e devem ser recalculadas periodicamente pois podem mudar com o tempo (Falconer e Mackay, 1996; Visscher *et al.* 2008). Os critérios de seleção são definidos a partir do conhecimento dos parâmetros genéticos e fenotípicos, o que pode garantir que a cada geração animais geneticamente superiores sejam selecionados (Viana *et al.* 2000).

Assim os objetivos deste trabalho foram (a) estimar parâmetros genéticos e fenotípicos, eficiência relativa de seleção e tendências genéticas para características

relacionadas a produção de ovos em duas linhagens de codornas de postura; (b) reavaliar os critérios de seleção utilizados no programa de melhoramento genético de ambas as linhagens.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 DESCRIÇÃO DAS LINHAGENS E MANEJO DAS AVES

Os dados de desempenho e pedigree de duas linhagens de codorna de postura foram cedidos pelo programa de melhoramento genético da empresa Vicami Codornas, localizada em Assis, São Paulo. As linhagens foram desenvolvidas por seleção e posterior cruzamento para produção de uma linhagem comercial destinada a produção de ovos.

O núcleo de seleção foi constituído de duas linhagens de codornas de postura, denominadas L1 (linhagem macho) e L2 (linhagem fêmea) avaliadas em gerações discretas. Em cada geração, o plantel de reprodução foi constituído de 200 matrizes e 100 reprodutores para cada linhagem. Os acasalamentos foram controlados de acordo com registros da genealogia das aves e a proporção de um macho para duas fêmeas (1:2) foi utilizada para cobertura (Stivanin *et al.* 2019). Os acasalamentos iniciaram cinco dias antes do período de colheita de ovos. Para a formação das gerações deste estudo, os ovos foram colhidos em três períodos de dez dias. Para a geração um, no ano de 2018 e, para as duas gerações seguintes, no ano de 2019, os ovos foram colhidos em dois períodos de dez dias. As incubações ocorreram em períodos de 17 dias sendo os ovos identificados pelo registro da mãe. Após a eclosão, os pintainhos foram identificados com anilhas numeradas e coloridas de acordo com a linhagem e genealogia.

As aves foram criadas até 28 dias de idade em gaiolas coletivas (75 aves/gaiola) equipadas com comedouros e bebedouros, localizadas no galpão de recria. O programa de luz utilizado neste período totalizou 24 horas de luz/dia até 15 dias de idade. Após esse período ocorreu redução de uma hora de luz ao dia, até atingir 12 horas diárias com 21 dias de idade. A partir de 28 dias de idade as aves

foram separadas por sexo e alojadas em gaiolas individuais localizadas no galpão de postura, equipado com comedouros e bebedouros. A ração fornecida seguiu formulação específica para codornas de postura seguindo as orientações do NRC (1994), contendo 23% de proteína bruta e 2900 Kcal de energia metabolizável para codornas em crescimento. Para codornas em postura a ração continha 20% de proteína bruta e 2800 Kcal de energia metabolizável. O programa de luz utilizado totalizou 16 horas diárias fracionados entre luz natural e artificial.

2.2 DADOS FENOTÍPICOS

O critério de seleção usado em ambas as linhagens foi a produção de ovos (número de ovos) nos primeiros 60 dias de postura. O intervalo médio de gerações foi de seis meses. Para reavaliar esse critério de seleção, a colheita de dados foi realizada durante 210 dias de postura no ano de 2020. Neste período, as aves foram monitoradas quanto a produção total de ovos (PT; número de ovos) colhidos a partir de 5% de produção alcançada aos 37 dias de idade da ave com término aos 210 dias de produção de ovos (aproximadamente 240 dias de idade).

O peso corporal da ave (PC; em gramas), peso médio dos ovos (PO; em gramas) e produção parcial de ovos (PP; número de ovos) foram colhidos em seis períodos parciais. O primeiro período parcial (PP1) correspondeu aos 60 primeiros dias de postura, PC1 correspondeu à média de dois pesos corporais durante os primeiros 60 dias de postura e PO1 foi a média do peso dos quatro ovos colhidos nesse período. Os demais períodos corresponderam a 30 dias de postura cada e foram denominados PP2, PP3, PP4, PP5 e PP6 para produção parcial de ovos, PC2, PC3, PC4, PC5 e PC6 para peso corporal da ave e PO2, PO3, PO4, PO5 e PO6 para peso médio dos ovos.

A colheita de dados conduzida durante 210 dias de postura foi considerada para reavaliar as linhagens quanto ao critério de seleção utilizado. Neste mesmo período, as aves foram monitoradas quanto a idade à maturidade sexual (IMS), peso corporal á maturidade sexual (PCS) e peso dos ovos à maturidade sexual (POS). Os

registros relacionados a estas características foram colhidos no dia da postura do primeiro ovo.

2.3 ESTIMAÇÃO DE PARÂMETROS GENÉTICOS E TENDÊNCIAS GENÉTICAS

Análises unicaracterística e bicaracterística foram realizadas em cada linhagem, considerando dois bancos de dados:

- Os dados fenotípicos foram oriundos de 1238 fêmeas com pedigree pertencentes à L1 e 1017 fêmeas aves pertencentes à L2. As características consideradas foram produção total de ovos, produção parcial de ovos, peso corporal da ave e peso médio dos ovos. Para as análises computacionais foram excluídos dados de aves sem identificação de genealogia, de fêmeas que não produziram ovos e de fêmeas com produção de ovos inferior a 50 ovos.
- Os bancos de dados foram constituídos de 1290 fêmeas com pedigree pertencente à L1 e 1052 fêmeas pertencente à L2. As características estudadas foram idade à maturidade sexual, peso corporal à maturidade sexual e peso dos ovos à maturidade sexual. Dados de fêmeas que morreram e daquelas que não tiveram registros de produção foram excluídos dos arquivos.

As estimativas de componentes de variância, covariância e parâmetros genéticos foram obtidas por meio da abordagem bayesiana utilizando o método de amostragem de Gibbs sob modelo animal. As análises foram realizadas por meio do programa computacional Gibbs2f90 (Mistzal, 2018). Como efeito fixo foi considerado o grupo de aves nascidas na mesma geração e incubação. Como efeito aleatório foi considerado o efeito genético aditivo e o efeito residual. O modelo utilizado para a estimação dos componentes de variância foi como segue:

$$y = X\beta + Za + e$$

em que, y é o vetor de observações; X é a matriz de incidência dos efeitos fixos, contida no vetor β ; β é vetor dos efeitos fixos (geração – incubação); Z é a matriz de

incidência dos efeitos genéticos aditivos: a é o vetor de efeitos genéticos aditivos aleatórios; e é o vetor dos erros aleatórios associados a cada observação.

A distribuição conjunta normal multivariada foi admitida para y , a , e , como segue:

$$\begin{bmatrix} y \\ a \\ e \end{bmatrix} \sim NMV \left\{ \begin{bmatrix} X\beta \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}; \begin{bmatrix} ZGZ' + R & ZG & R \\ GZ' & G & 0 \\ R & 0 & R \end{bmatrix} \right\}$$

Para as análises bicaracterística a matriz G é dada por $G_0 \otimes A$, sendo A a matriz de parentesco entre os animais e G_0 a matriz de variâncias e covariâncias genéticas entre as características, como segue, respectivamente:

$$G_0 = \begin{bmatrix} \sigma_{a_1}^2 & \sigma_{a_1 a_2} \\ \sigma_{a_1 a_2} & \sigma_{a_2}^2 \end{bmatrix}$$

Da mesma forma a matriz R é dada por $R_0 \otimes I$, sendo I a matriz identidade de ordem igual ao número de observações, e R_0 a matriz de variâncias e covariâncias residuais entre as características, como segue:

$$R_0 = \begin{bmatrix} \sigma_{e_1}^2 & \sigma_{e_1 e_2} \\ \sigma_{e_1 e_2} & \sigma_{e_2}^2 \end{bmatrix}$$

Para as análises unicaracterística foram geradas cadeias de Gibbs com 550.000 iterações, com descarte inicial de 50.000 ciclos e intervalo de amostragem de 100 ciclos para todas as análises. Para as análises bicaracterística foram geradas cadeias de Gibbs entre 1.000.000 e 3.000.000 de ciclos com descarte inicial de 150.000 ciclos e intervalo de amostragem de 100 ciclos. A convergência das cadeias de amostragem de Gibbs foi diagnosticada por meio da utilização dos teste de diagnóstico de Geweke e de Heidelberger & Welch, disponíveis na biblioteca Coda (Convergence Diagnosis and Output Analysis) (Plummer et al. 2006), implementado

no programa R v. 4.0.5 (The R Foundation For Statistical Computing, 2022). Os intervalos de credibilidade de 90% foram obtidos a partir do mesmo programa.

A eficiência relativa de seleção foi calculada de acordo com Falconer e Mackay (1996) com objetivo de verificar o efeito da seleção indireta para a produção total de ovos se aplicada seleção pela produção parcial de ovos conforme a equação abaixo:

$$\frac{RCx}{Rx} = \frac{r_a h_y i_y}{h_x i_x}$$

em que, RCx é a resposta correlacionada da característica principal (x) quando a seleção foi aplicada à característica secundária (y); Rx é a resposta à seleção direta para a característica principal (x); r_a é a correlação genética entre as características (x e y); h_y é a raiz quadrada da herdabilidade da característica secundária (y); h_x é a raiz quadrada da herdabilidade da característica principal (x); i_y é a intensidade de seleção aplicada a característica secundária (y); i_x é a intensidade de seleção aplicada a característica principal (x). Para as duas características foi aplicada a mesma intensidade de seleção, $i_y = i_x = i$, então:

$$\frac{RCx}{Rx} = \frac{r_a h_y}{h_x}$$

A expressão permite observar que a seleção indireta será melhor que a direta se o numerador ($r_a h_y$) for maior que o denominador (h_x), obtendo assim um valor maior que 1.

As tendências genéticas para cada característica estudada foram estimadas a partir da regressão linear simples dos valores genéticos preditos em função da geração de nascimento (Geração 1 a 10) das aves. O teste t student foi utilizado para avaliar a significância ($p < 0,05$) para o coeficiente de regressão de cada equação. As equações das tendências genéticas foram obtidas pela função "lm" do programa computacional R (The R Foundation For Statistical Computing, 2022).

3. RESULTADOS

As médias observadas, desvios-padrão, valor mínimo e máximo para cada característica estudada estão descritas nas Tabelas 1 e 2 respectivamente, para as linhagens L1 e L2 nos períodos de um a seis. As médias para as características foram semelhantes em ambas as linhagens.

Ressalta-se que o PP1 apresentou maior média em ambas as linhagens comparado os demais períodos parciais visto que este considera os primeiros 60 dias de postura enquanto que os demais períodos parciais foram de 30 dias cada.

Tabela 1- Estatística descritiva para produção parcial de ovos (PP; número de ovos), peso corporal da ave (PC; gramas) e peso médio dos ovos (PO; gramas) por período (um a seis), produção total de ovos (PT; número de ovos), idade à maturidade sexual (IMS; dias), peso corporal (PCS; gramas) e peso dos ovos à maturidade sexual (POS; gramas) para linhagem L1 de codornas de postura

Característica	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo	N_{Total}
PP1	47,55	10,37	0,00	60,00	1236
PP2	28,75	3,81	1,00	32,00	1232
PP3	28,47	3,70	1,00	32,00	1223
PP4	27,72	4,50	0,00	32,00	1214
PP5	27,33	5,48	0,00	33,00	1194
PP6	26,58	5,87	0,00	32,00	1172
Média	31,06				
PC1	181,72	14,08	113,20	234,70	1238
PC2	186,65	17,22	130,00	307,30	1228
PC3	189,89	17,35	145,90	333,90	1218
PC4	187,04	21,92	103,50	364,90	1205
PC5	194,50	18,82	112,00	320,10	1185
PC6	196,64	19,55	102,00	299,20	1163
Média	189,40				
PO1	11,69	0,86	7,73	14,75	1225
PO2	11,17	0,98	7,00	17,00	1196
PO3	12,05	0,94	17,30	8,30	1188
PO4	11,81	1,04	8,15	15,15	1068
PO5	11,80	1,08	6,20	11,80	1117
PO6	11,64	1,02	6,45	14,50	1001
Média	11,69				
PT	182,97	28,63	50,00	211,00	1238
IMS	46,22	9,52	35,00	116,00	1289
PCS	168,75	14,12	116,60	224,10	1285
POS	8,75	1,15	6,00	14,20	1262

N_{total} = número de observações PP1=60 dias e PP2 ao PP6=30 dias

Tabela 2- Estatística descritiva para produção parcial de ovos (PP; número de ovos), peso corporal da ave (PC; gramas) e peso médio dos ovos (PO; gramas) por período (um a seis), produção total de ovos (PT; número de ovos), idade à maturidade sexual (IMS; dias), peso corporal (PCS; gramas) e peso dos ovos à maturidade sexual (POS; gramas) para linhagem L2 de codornas de postura

Características	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo	N_{Total}
PP1	48,00	10,33	1,00	60,00	1017
PP2	28,64	3,82	0,00	32,00	1015
PP3	28,59	3,80	1,00	32,00	1010
PP4	28,19	4,29	0,00	32,00	1009
PP5	27,59	4,70	0,00	33,00	1003
PP6	25,80	5,94	0,00	31,00	988
Média	31,13				
PC1	178,59	13,35	139,40	229,35	1017
PC2	185,80	15,61	106,90	246,60	1010
PC3	180,31	17,04	116,50	245,60	1006
PC4	186,39	17,13	103,00	252,30	1002
PC5	188,44	16,91	115,00	286,50	992
PC6	189,94	18,81	109,00	310,00	971
Média	184,92				
PO1	11,52	0,86	7,70	14,10	1005
PO2	11,50	0,96	7,95	14,80	992
PO3	11,72	0,96	8,15	14,80	974
PO4	11,60	1,03	6,50	16,00	958
PO5	11,53	0,99	7,00	15,05	947
PO6	11,19	1,16	6,95	14,65	770
Média	11,51				
PT	185,09	24,51	50,00	218,00	1017
IMS	45,27	8,04	35,00	102,00	1050
PCS	167,36	12,86	120,90	208,10	1049
POS	8,70	1,24	8,70	15,90	1032

N_{total} = número de observações PP1=60 dias e PP2 ao PP6=30 dias

As estimativas de herdabilidade e seus respectivos intervalos de credibilidade de 90% entre parênteses para PT foram 0,06 (0,01 - 0,13) para L1 e 0,09 (0,02 - 0,17) para L2. Para a característica PP nos diferentes períodos parciais, as estimativas de herdabilidade variaram de 0,02 a 0,20 para L1 e, entre 0,02 a 0,16 para L2 (Tabelas 3 e 4). Para PC nos diferentes períodos parciais as estimativas de herdabilidade variaram de 0,54 a 0,69 para L1 e, de 0,46 a 0,78 para L2. As estimativas de herdabilidade para PO nos períodos parciais variaram de 0,55 a 0,68 para L1 e, para L2 de 0,36 a 0,56. Para o PP1 que corresponde a 60 dias iniciais do ciclo de postura,

foram obtidas maiores estimativas de herdabilidade para as características PP, PC e PO para ambas as linhagens de codornas de postura (Tabelas 3 e 4).

Tabela 3- Médias das estimativas de variância genética aditiva (σ_a^2), herdabilidade (h^2) e correlações genéticas ($r_{g_{a_1 a_2}}$) em análises unicaracterística e bicaracterística da produção total de ovos (PT) com a produção parcial (PP), peso corporal da ave (PC) e peso médio dos ovos (PO) em seis períodos (1 a 6) em codornas de postura da linhagem L1

Período	PP			PC			PO		
	σ_a^2	h^2	$r_{g_{PT,PP}}$	σ_a^2	h^2	$r_{g_{PT,PC}}$	σ_a^2	h^2	$r_{g_{PT,PO}}$
1	22,36 (14,00 – 31,80)*	0,20 (0,13 – 0,29)	0,85 (0,60 – 0,99)	135,84 (107,30 – 168,00)	0,69 (0,58 – 0,80)	0,00 (-0,33 – 0,33)	0,51 (0,40 – 0,64)	0,68 (0,57 – 0,80)	0,20 (-0,14 – 0,54)
2	0,37 (0,00 – 1,00)	0,02 (0,00 – 0,07)	0,48 (0,78 – 0,99)	197,54 (154,20 – 248,60)	0,66 (0,56 – 0,78)	-0,12 (-0,45 – 0,20)	0,59 (0,46 – 0,76)	0,65 (0,53 – 0,77)	0,08 (-0,28 – 0,45)
3	0,68 (0,02 – 1,52)	0,05 (0,01 – 0,11)	0,76 (0,27 – 0,99)	200,82 (156,10 – 250,80)	0,66 (0,55 – 0,77)	-0,08 (-0,42 – 0,26)	0,60 (0,47 – 0,77)	0,64 (0,53 – 0,76)	0,00 (-0,36 – 0,37)
4	2,02 (0,69 – 3,57)	0,09 (0,03 – 0,19)	0,66 (0,15 – 0,97)	210,33 (161,09 – 268,31)	0,54 (0,44 – 0,66)	-0,05 (-0,39 – 0,30)	0,51 (0,38 – 0,65)	0,56 (0,45 – 0,69)	0,04 (-0,33 – 0,42)
5	1,14 (0,00 – 2,79)	0,03 (0,00 – 0,09)	0,73 (0,21 – 0,99)	234,74 (181,90 – 298,00)	0,66 (0,55 – 0,78)	-0,21 (-0,62 – 0,13)	0,70 (0,53 – 0,91)	0,64 (0,51 – 0,77)	-0,08 (-0,48 – 0,28)
6	0,80 (0,04 – 2,25)	0,02 (0,00 – 0,06)	0,32 (0,84 – 0,98)	243,37 (188,29 – 307,69)	0,63 (0,51 – 0,75)	-0,28 (-0,62 – 0,06)	0,54 (0,40 – 0,72)	0,55 (0,43 – 0,67)	-0,12 (-0,49 – 0,24)

* Intervalos de credibilidade ao nível de 90%

Tabela 4- Médias das estimativas de variância genética aditiva (σ_a^2), herdabilidade (h^2) e correlações genéticas ($r_{g_{a_1 a_2}}$) em análises unicaracterística e bicaracterística da produção total de ovos (PT) com a para produção parcial (PP), peso corporal da ave (PC), peso médio dos ovos (PO) em seis períodos parciais (1 a 6) em codornas de postura da linhagem L2

Período	PP			PC			PO		
	σ_a^2	h^2	$r_{g_{PT,PP}}$	σ_a^2	h^2	$r_{g_{PT,PC}}$	σ_a^2	h^2	$r_{g_{PT,PO}}$
1	17,57 (8,90 – 28,11)*	0,16 (0,08 – 0,26)	0,64 (0,28 – 0,93)	142,92 (111,60 – 179,70)	0,78 (0,65 – 0,90)	-0,30 (-0,67 – 0,04)	0,42 (0,31 – 0,55)	0,56 (0,44 – 0,69)	-0,46 (-0,88 – -0,08)
2	1,06 (0,27 – 2,11)	0,07 (0,01 – 0,14)	0,86 (0,58 – 0,99)	166,75 (126,49 – 213,50)	0,68 (0,55 – 0,80)	0,12 (-0,47 – 0,22)	0,50 (0,36 – 0,66)	0,53 (0,41 – 0,66)	-0,40 (-0,78 – -0,05)
3	1,07 (0,26 – 2,14)	0,07 (0,01 – 0,14)	0,83 (0,48 – 0,99)	170,80 (128,60 – 219,90)	0,64 (0,51 – 0,77)	-0,22 (-0,57 – 0,12)	0,51 (0,37 – 0,66)	0,54 (0,42 – 0,66)	-0,49 (-0,88 – -0,14)
4	0,44 (0,01 – 1,25)	0,02 (0,00 – 0,06)	0,85 (0,46 – 0,99)	153,86 (114,89 – 198,10)	0,57 (0,46 – 0,69)	0,25 (-0,59 – 0,08)	0,50 (0,36 – 0,67)	0,48 (0,37 – 0,60)	-0,42 (-0,84 – -0,04)
5	2,71 (1,17 – 4,53)	0,12 (0,05 – 0,21)	0,70 (0,33 – 0,95)	139,09 (98,80 – 184,10)	0,48 (0,37 – 0,60)	0,01 (-0,36 – 0,37)	0,45 (0,31 – 0,60)	0,47 (0,34 – 0,60)	-0,42 (-0,87 – -0,02)
6	3,74 (1,23 – 6,87)	0,10 (0,03 – 0,19)	0,74 (0,35 – 0,98)	167,32 (119,30 – 222,50)	0,46 (0,35 – 0,58)	-0,16 (-0,54 – 0,19)	0,41 (0,25 – 0,59)	0,36 (0,24 – 0,50)	-0,68 (-0,98 – -0,28)

* Intervalos de credibilidade ao nível de 90%

As estimativas de herdabilidade para IMS, PCS e POS são apresentadas nas (Tabela 5 e 6).

Tabela 5- Médias das estimativas de herdabilidade (h^2), variância genética aditiva (σ_a^2), fenotípica (σ_y^2) e de ambiente (σ_e^2) em análise unicaracterística para idade à maturidade sexual (IMS), peso corporal (PCS) e peso dos ovos à maturidade sexual (POS) e produção total de ovos (PT) em codornas de postura da linhagem L1

Componentes	Estimativas	Intervalo de credibilidade
h_{IMS}^2	0,28	0,20 – 0,37
h_{PCS}^2	0,48	0,38 – 0,59
h_{POS}^2	0,24	0,16 – 0,33
h_{PT}^2	0,06	0,00 – 0,13
σ_{aIMS}^2	25,60	17,65 – 35,05
σ_{aPCS}^2	95,02	71,15 – 121,40
σ_{aPOS}^2	0,31	0,20 – 0,44
σ_{aPT}^2	54,03	6,23 – 110,81
σ_{yIMS}^2	91,91	85,65 – 98,56
σ_{yPCS}^2	196,77	181,78 – 213,00
σ_{yPOS}^2	1,31	1,22 – 1,40
σ_{yPT}^2	823,86	771,50 – 881,11
σ_{eIMS}^2	66,32	58,66 – 98,56
σ_{ePCS}^2	101,74	83,42 – 119,70
σ_{ePOS}^2	1,00	0,89 – 1,11
σ_{ePT}^2	769,82	704,30 – 703,90

Intervalos de credibilidade ao nível de 90%

Tabela 6- Médias das estimativas de herdabilidade (h^2), variância genética aditiva (σ_a^2), fenotípica (σ_y^2) e de ambiente (σ_e^2), em análises unicaracterística para idade à maturidade sexual (IMS), peso corporal (PCS) e peso dos ovos à maturidade sexual (POS) e produção total de ovos (PT) em codornas de postura da linhagem L2

Componentes	Estimativas	Intervalo de credibilidade
h_{IMS}^2	0,25	0,16 – 0,34
h_{PCS}^2	0,63	0,51 – 0,76
h_{POS}^2	0,24	0,15 – 0,33
h_{PT}^2	0,09	0,02 – 0,17
$\sigma_{a_{IMS}}^2$	16,55	10,30 – 23,80
$\sigma_{a_{PCS}}^2$	108,26	81,47 – 139,00
$\sigma_{a_{POS}}^2$	0,38	0,24 – 0,54
$\sigma_{a_{PT}}^2$	57,25	17,65 – 109,10
$\sigma_{y_{IMS}}^2$	65,48	60,69 – 70,75
$\sigma_{y_{PCS}}^2$	169,36	154,62 – 186,41
$\sigma_{y_{POS}}^2$	1,57	1,45 – 1,69
$\sigma_{y_{PT}}^2$	596,67	554,24 – 641,86
$\sigma_{e_{IMS}}^2$	48,93	42,99 – 55,28
$\sigma_{e_{PCS}}^2$	61,10	41,87 – 79,10
$\sigma_{e_{POS}}^2$	1,18	1,04 – 1,33
$\sigma_{e_{PT}}^2$	538,76	482,39 – 594,80

Intervalos de credibilidade ao nível de 90%

As estimativas de correlação genética entre as características PT e PP foram positivas em todos os períodos parciais e variaram de 0,32 a 0,85 para L1, sendo a maior estimativa observada entre PT e PP1 (Tabela 3). Para a L2, as estimativas de correlações genéticas variaram de 0,64 a 0,86, entretanto nesta linhagem a menor estimativa de correlação genética entre períodos parciais e PT foi do PP1 com PT (Tabela 4). Correlações genéticas negativas e variando entre -0,68 a -0,40 foram estimadas entre PT e PO na L2. Para as características PT e PO na L1 e para PT e

PC em ambas as linhagens os intervalos de credibilidade incluíram o valor zero. Desta forma, as estimativas de correlações genéticas foram consideradas nulas, assim como correlações fenotípicas e de ambiente entre as demais características.

As estimativas de correlações genéticas entre PP2 e PC2 e PP2 e PO2 foram negativas para L1 (Tabela 7). Para a L2, estimativas de correlações genéticas negativas foram observadas entre PP4 e PO4 e PP6 e PO6 (Tabela 8). Correlações genéticas positivas em todos os períodos parciais entre PC e PO foram obtidas e variaram de 0,54 a 0,65 para L1 e de 0,57 a 0,63 para a L2.

Tabela 7- Médias das estimativas de correlações genéticas ($r_{g_{a_1 a_2}}$), de ambiente ($r_{e_{e_1 e_2}}$) e fenotípicas ($r_{y_{y_1 y_2}}$) em análise bicaracterística da produção parcial de ovos (PP) com o peso corporal da ave (PC), peso médio do ovo (PO) em seis períodos parciais (1 a 6) em codornas de postura da linhagem L1

Período	Estimativas								
	$r_{g_{PP,PC}}$	$r_{e_{PP,PC}}$	$r_{y_{PP,PC}}$	$r_{g_{PP,PO}}$	$r_{e_{PP,PO}}$	$r_{y_{PP,PO}}$	$r_{g_{PC,PO}}$	$r_{e_{PC,PO}}$	$r_{y_{PC,PO}}$
1	0,00 (-0,22 – 0,21)*	0,20 (0,08 – 0,34)	0,10 (0,04 – 0,15)	0,05 (-0,17 – 0,27)	0,21 (0,08 – 0,34)	0,12 (0,06 – 0,17)	0,65 (0,54 – 0,74)	0,13 (-0,15 – 0,34)	0,50 (0,45 – 0,54)
2	-0,49 (-0,97 – -0,09)	0,14 (0,04 – 0,25)	0,03 (-0,01 – 0,08)	-0,61 (-0,99 – -0,03)	0,17 (0,05 – 0,29)	0,03 (-0,02 – 0,09)	0,59 (0,46 – 0,70)	0,31 (0,09 – 0,50)	0,50 (0,45 – 0,55)
3	0,23 (-0,35 – 0,96)	0,01 (-0,09 – 0,12)	0,03 (-0,01 – 0,09)	0,29 (-0,24 – 0,93)	0,07 (-0,04 – 0,19)	0,08 (0,02 – 0,14)	0,62 (0,50 – 0,73)	-0,03 (-0,32 – 0,18)	0,41 (0,36 – 0,46)
4	0,17 (-0,18 – 0,55)	-0,03 (-0,13 – 0,06)	0,01 (-0,03 – 0,06)	0,20 (-0,15 – 0,56)	-0,13 (-0,26 – -0,00)	-0,03 (-0,10 – 0,03)	0,58 (0,44 – 0,71)	0,32 (0,18 – 0,45)	0,47 (0,42 – 0,52)
5	0,12 (-0,71 – 0,97)	0,07 (-0,03 – 0,18)	0,05 (-0,00 – 0,10)	-0,06 (-0,81 – 0,64)	-0,12 (-0,25 – -0,00)	0,05 (-0,00 – 0,10)	0,54 (0,39 – 0,66)	0,20 (-0,04 – 0,39)	0,42 (0,37 – 0,48)
6	-0,28 (-0,99 – 0,80)	0,10 (0,00 – 0,21)	0,03 (-0,01 – 0,09)	-0,53 (-0,98 – 0,33)	-0,01 (-0,13 – 0,09)	-0,06 (-0,12 – 0,00)	0,61 (0,46 – 0,73)	0,13 (-0,08 – 0,31)	0,42 (0,36 – 0,47)

* Intervalos de credibilidade ao nível de 90%

Tabela 8- Médias das estimativas de correlações genéticas ($r_{g_{a_1 a_2}}$) de ambiente ($r_{e_{e_1 e_2}}$) e fenotípicas ($r_{y_{y_1 y_2}}$) em análise bicaracterística da produção parcial de ovos (PP), peso corporal da ave (PC) e peso médio dos ovos (PO) em seis períodos parciais (1 a 6) em codornas de postura da linhagem L2

Período	Estimativas								
	$r_{g_{PP,PC}}$	$r_{e_{PP,PC}}$	$r_{y_{PP,PC}}$	$r_{g_{PP,PO}}$	$r_{e_{PP,PO}}$	$r_{y_{PP,PO}}$	$r_{g_{PC,PO}}$	$r_{e_{PC,PO}}$	$r_{y_{PC,PO}}$
1	-0,13 (-0,41 – 0,13)*	0,09 (-0,07 – 0,26)	0,00 (-0,06 – 0,04)	-0,19 (-0,49 – 0,10)	0,23 (0,11 – 0,36)	0,08 (0,02 – 0,14)	0,63 (0,50 – 0,74)	0,13 (0,28 – 0,40)	0,48 (0,43 – 0,53)
2	-0,06 (-0,61 – 0,46)	0,00 (-0,13 – 0,12)	-0,01 (-0,06 – 0,04)	-0,39 (-0,97 – 0,13)	0,08 (-0,02 – 0,20)	0,00 (-0,06 – 0,06)	0,56 (0,42 – 0,69)	0,36 (0,16 – 0,52)	0,48 (0,43 – 0,53)
3	0,32 (-0,20 – 0,90)	0,00 (-0,12 – 0,12)	0,05 (-0,00 – 0,10)	0,29 (-0,21 – 0,82)	0,00 (-0,12 – 0,12)	0,05 (-0,00 – 0,10)	0,59 (0,45 – 0,71)	0,28 (0,08 – 0,44)	0,47 (0,42 – 0,52)
4	-0,16 (-0,97 – 0,82)	0,04 (-0,05 – 0,15)	0,01 (-0,03 – 0,07)	-0,65 (-0,97 – -0,09)	0,12 (0,02 – 0,24)	0,02 (-0,04 – 0,09)	0,61 (0,47 – 0,73)	0,36 (0,21 – 0,49)	0,50 (0,45 – 0,54)
5	0,11 (-0,22 – 0,43)	-0,04 (-0,16 – 0,05)	0,00 (-0,06 – 0,05)	-0,10 (-0,45 – 0,24)	0,00 (-0,12 – 0,10)	-0,03 (-0,09 – 0,03)	0,62 (0,47 – 0,75)	0,29 (0,15 – 0,42)	0,46 (0,40 – 0,50)
6	-0,07 (-0,50 – 0,34)	0,12 (0,01 – 0,22)	0,06 (0,01 – 0,12)	-0,46 (-0,97 – -0,02)	0,14 (0,03 – 0,24)	0,04 (-0,03 – 0,11)	0,57 (0,38 – 0,73)	0,35 (0,22 – 0,47)	0,44 (0,39 – 0,50)

* Intervalos de credibilidade ao nível de 90%

Tabela 9- Médias das estimativas de variância de ambiente (σ_e^2), correlação fenotípica ($r_{y_{y_1y_2}}$) e de ambiente ($r_{e_{e_1e_2}}$) em análise unicaracterística e bicaracterística da produção total de ovos (PT) com a produção parcial (PP), peso corporal (PC) e peso médio dos ovos (PO) em seis períodos parciais (1 a 6) em codornas de postura da linhagem L1

Período	PP			PC			PO		
	σ_e^2	$r_{y_{PT,PP}}$	$r_{e_{PT,PP}}$	σ_e^2	$r_{y_{PT,PC}}$	$r_{e_{PT,PC}}$	σ_e^2	$r_{y_{PT,PO}}$	$r_{e_{PT,PO}}$
1	84,04 (75,66 – 92,76)	0,47 (0,43 – 0,51)	0,42 (0,37 – 0,47)	60,15 (41,05 – 77,89)	0,05 (0,00 – 0,10)	-0,01 (-0,01 – 0,22)	0,23 (0,15 – 0,30)	0,03 (-0,02 – 0,08)	-0,02 (-0,15 – 0,09)
2	14,29 (10,35 – 15,37)	0,55 (0,51 – 0,58)	0,56 (0,51 – 0,60)	97,00 (67,47 – 124,90)	0,04 (-0,01 – 0,09)	0,13 (0,01 – 0,26)	0,31 (0,21 – 0,40)	0,06 (0,00 – 0,12)	0,09 (-0,02 – 0,22)
3	12,92 (11,85 – 14,02)	0,69 (0,66 – 0,71)	0,68 (0,64 – 0,71)	99,82 (70,49 – 129,10)	-0,03 (-0,08 – 0,02)	-0,03 (-0,15 – 0,08)	0,32 (0,22 – 0,41)	0,03 (-0,02 – 0,09)	0,06 (-0,06 – 0,18)
4	18,20 (16,44 – 19,94)	0,67 (0,64 – 0,70)	0,67 (0,63 – 0,71)	174,04 (137,59 – 209,00)	-0,01 (-0,06 – 0,04)	0,00 (-0,10 – 0,10)	0,38 (0,29 – 0,47)	0,04 (-0,03 – 0,11)	0,05 (-0,08 – 0,18)
5	28,90 (20,60 – 31,19)	0,78 (0,76 – 0,80)	0,79 (0,78 – 0,82)	117,57 (79,70 – 150,00)	0,03 (-0,02 – 0,09)	0,15 (0,02 – 0,28)	0,38 (0,26 – 0,50)	0,03 (-0,03 – 0,10)	0,09 (-0,05 – 0,23)
6	34,00 (31,47 – 36,56)	0,69 (0,66 – 0,72)	0,72 (0,68 – 0,75)	140,77 (101,48 – 178,00)	0,00 (-0,05 – 0,06)	0,11 (-0,01 – 0,23)	0,44 (0,33 – 0,54)	-0,06 (-0,14 – 0,00)	-0,06 (-0,18 – 0,07)

* Intervalos de credibilidade ao nível de 90%

Tabela 10- Médias das estimativas de variância de ambiente (σ_e^2), correlação fenotípica ($r_{y_{y_1y_2}}$) e de ambiente ($r_{e_{e_1e_2}}$) em análise unicaracterística e bicaracterística da produção total de ovos (PT) com a produção parcial (PP), peso corporal da ave (PC), peso médio do ovo (PO) em seis períodos parciais (1 a 6) em codornas de postura da linhagem L2

Período	PP			PC			PO		
	σ_e^2	$r_{y_{PT,PP}}$	$r_{e_{PT,PP}}$	σ_e^2	$r_{y_{PT,PC}}$	$r_{e_{PT,PC}}$	σ_e^2	$r_{y_{PT,PO}}$	$r_{e_{PT,PO}}$
1	89,42 (79,17 – 99,58)	0,61 (0,58 – 0,64)	0,61 (0,56 – 0,66)	39,36 (18,29 – 58,86)	0,00 (-0,05 – 0,05)	0,20 (0,03 – 0,39)	0,32 (0,24 – 0,39)	-0,01 (-0,06 – 0,04)	0,15 (0,03 – 0,27)
2	13,30 (12,10 – 14,57)	0,65 (0,62 – 0,68)	0,63 (0,59 – 0,67)	77,68 (50,24 – 103,70)	0,00 (-0,06 – 0,05)	0,04 (-0,09 – 0,18)	0,43 (0,33 – 0,53)	-0,02 (-0,09 – 0,03)	0,10 (-0,01 – 0,23)
3	13,45 (12,45 – 14,77)	0,69 (0,65 – 0,71)	0,67 (0,63 – 0,71)	94,32 (64,30 – 122,20)	0,00 (-0,06 – 0,05)	0,09 (-0,03 – 0,23)	0,42 (0,32 – 0,51)	-0,04 (-0,11 – 0,02)	0,10 (-0,01 – 0,23)
4	18,12 (16,69 – 19,58)	0,68 (0,65 – 0,71)	0,69 (0,65 – 0,72)	112,43 (83,88 – 140,20)	-0,01 (-0,07 – 0,05)	0,09 (-0,03 – 0,22)	0,52 (0,41 – 0,63)	0,00 (-0,07 – 0,06)	0,13 (0,00 – 0,25)
5	18,42 (16,50 – 20,40)	0,68 (0,64 – 0,71)	0,67 (0,63 – 0,71)	145,33 (115,60 – 174,40)	-0,02 (-0,08 – 0,04)	-0,03 (-0,15 – 0,07)	0,50 (0,40 – 0,60)	0,00 (-0,06 – 0,07)	0,13 (0,01 – 0,25)
6	30,75 (27,45 – 34,06)	0,64 (0,60 – 0,67)	0,62 (0,57 – 0,67)	191,99 (155,09 – 227,90)	-0,03 (-0,09 – 0,02)	0,00 (-0,10 – 0,11)	0,70 (0,56 – 0,84)	-0,06 (-0,13 – 0,01)	0,08 (-0,02 – 0,20)

* Intervalo de credibilidade ao nível de 90%

As estimativas de correlações fenotípicas para as características PT e PP foram positivas em todos os períodos parciais e variaram de 0,47 a 0,78 para L1 e, entre 0,61 a 0,69 para L2 (Tabelas 9 e 10). Entre PT e PP1 foi observada a menor estimativa de correlação fenotípica em ambas as linhagens. Para as características PC e PO as estimativas de correlações fenotípicas foram positivas em todos os períodos parciais em ambas as linhagens (Tabelas 7 e 8).

As correlações genéticas e fenotípicas foram positivas entre IMS e PCS e IMS e POS para ambas as linhagens (Tabelas 11 e 12). A correlação genética foi negativa entre IMS e PT (-0,62) para L1 e para a L2 a correlação genética entre IMS e PT foi nula.

Tabela 11- Médias das estimativas de correlações genéticas (r_g), fenotípicas (r_y) e de ambiente (r_e) em análises bicaracterística para a idade à maturidade sexual (IMS), peso corporal (PCS) e peso dos ovos à maturidade sexual (POS) e produção total de ovos (PT) em codornas de postura da linhagem L1

Característica		r_g	r_y	r_e
IMS	PCS	0,25 (0,03-0,46)*	0,31 (0,26 – 0,36)	0,36 (0,26 – 0,45)
IMS	POS	0,62 (0,44 – 0,77)	0,50 (0,46 – 0,53)	0,45 (0,39-0,51)
IMS	PT	-0,62 (-0,97 – -0,22)	-0,25 (-0,30 – 0,20)	-0,20 (-0,27- 0,13)
PCS	POS	0,47 (0,28 – 0,64)	0,34 (0,29 – 0,38)	0,28 (0,19 – 0,36)
PCS	PT	-0,16 (-0,57 – 0,21)	-0,05 (-0,09 – 0,00)	-0,03 (-0,12 – 0,05)
POS	PT	-0,71 (-0,99 – -0,28)	-0,10 (-0,15 – 0,05)	0,00 (-0,08 – 0,06)

* Intervalo de credibilidade ao nível de 90%

Tabela 12- Médias das estimativas de correlações genéticas (r_g), fenotípicas (r_y) e de ambiente (r_e) em análises bicaracterística para a idade à maturidade sexual (IMS), peso corporal (PCS) e peso dos ovos à maturidade sexual (POS) e produção total de ovos (PT) em codornas de postura da linhagem L2

Características		r_g	r_y	r_e
IMS	PCS	0,36 (0,11-0,57)*	0,31 (0,26 – 0,36)	0,33 (0,21 – 0,46)
IMS	POS	0,57 (0,35 – 0,76)	0,50 (0,46 – 0,54)	0,47 (0,40-0,53)
IMS	PT	-0,26 (-0,65 – 0,17)	-0,31 (-0,36 – 0,26)	-0,32 (-0,39- 0,24)
PCS	POS	0,40 (0,19 – 0,60)	0,29 (0,23 – 0,34)	0,25 (0,11 – 0,37)
PCS	PT	-0,28 (-0,64 – 0,08)	-0,02 (-0,07 – 0,03)	0,06 (-0,03 – 0,17)
POS	PT	-0,22 (-0,60 – 0,19)	-0,23 (-0,28 – 0,19)	-0,24 (-0,32 – 0,16)

* Intervalo de credibilidade ao nível de 90%

As tendências genéticas foram significativas para peso médio dos ovos na L1 ($b = -0,00294 \pm 0,000$; $p = 0,001$ $R^2 = 0,000537$) e, produção de ovos ($b = 0,0125 \pm 0,005$; $p = 0,0129$; $R^2 = 0,0003257$) e peso corporal da ave ($b = -0,0594 \pm 0,019$; $p = 0,0017$; $R^2 = 0,0005147$) na L2. As estimativas de eficiência relativa de seleção entre a PT e PP para a L1 foram 1,55, 0,28, 0,69, 0,82, 0,51 e 0,16 para os períodos parciais um a seis, respectivamente. Para a L2 as estimativas de eficiência relativa de seleção foram 0,85, 0,74, 0,72, 0,39, 0,79 e 0,76 para os períodos parciais um a seis, respectivamente.

4. DISCUSSÃO

As linhagens deste estudo foram mantidas sob as mesmas condições de manejo, nutrição e seleção e apresentaram médias observadas (Tabelas 1 e 2) semelhantes para as características relacionadas a produção de ovos. Na literatura, outros autores consideraram períodos totais e parciais diferentes. Daikwo *et al.* (2014) estudaram a produção de ovos durante 365 dias em codornas de postura e a média encontrada foi de 247,64 ovos no período. Os autores estudaram a produção parcial

de ovos dividida em três períodos de 90 dias cada e encontraram média de 72,19 ovos. Khadiga *et al.* (2017) estudaram uma linhagem de codornas de postura selecionada para produção de ovos durante 152 dias de postura e a média encontrada foi de 122,91 ovos produzidos no período. Neste trabalho foi avaliada a produção parcial de ovos que correspondeu a soma de quatro semanas de postura e resultou em cinco períodos parciais de 30,5 dias cada. A produção de ovos média para cada período foi de 21,10; 26,13; 26,42; 25,17 e 24,09 ovos. Além das diferenças no número de dias em que as aves foram avaliadas a produção de ovos do presente trabalho também foi influenciada pelo manejo e alimentação das aves.

O peso corporal aumentou com a idade estudada das aves e a L1 apresentou média para peso corporal maior em comparação a L2. Em linhagens de codornas de postura selecionadas para peso corporal em quatro semanas de idade, foram reportadas média de 182 e 201,50 gramas para peso corporal da ave (Kumari *et al.* 2012). Jatoi *et al.* (2013) investigaram o efeito do peso corporal no desempenho produtivo de três linhagens de codornas de postura durante 31 semanas de produção e encontraram peso corporal médio de 271,48 a 275,84 gramas. O peso corporal relatado pelos autores foi superior ao encontrado nas linhagens deste estudo. Nesses trabalhos, as aves foram selecionadas para peso corporal, o que não ocorreu em nosso estudo em que foi feito apenas um acompanhamento do peso corporal durante o período de produção.

O peso médio dos ovos foi semelhante nos períodos parciais nas linhagens sendo de aproximadamente 11,69 gramas na L1 e 11,51 gramas na L2. Estes resultados estão de acordo com Karami *et al.* (2017) que avaliaram codornas de postura da segunda a sexta semana de produção e encontraram média de 11,65, 11,91, 12,03, 12,28 e 12,18 gramas para peso dos ovos. O número de dias em que as aves deste estudo foram avaliadas é diferente do citado pelo autor, assim as comparações devem ser feitas com cautela. As médias para IMS foram 46,22 dias para L1 e 45,27 dias para L2 e estão de acordo com as médias de 39,40 a 48 dias encontradas em codornas de postura (Lofti *et al.* 2012; Daikwo *et al.* 2014; Al-Tikrit 2018). Conforme os autores, a idade à maturidade sexual é influenciada pela alimentação e manejo o que pode explicar a variação no número de dias em que a postura do primeiro ovo ocorreu.

As médias para PCS e POS encontradas nas linhagens deste estudo (Tabela 1 e 2) estão de acordo com os achados de Daikwo *et al.* (2014) que avaliaram o desempenho de codornas de postura e encontraram médias de 145,68 gramas para peso corporal e 7,12 gramas para peso dos ovos à maturidade sexual. Chimezie *et al.* (2017), encontraram médias entre 158,75 e 184,23 gramas para peso corporal e 7,44 a 9,73 gramas para peso do ovo a idade a maturidade sexual.

A produção de ovos e o peso dos ovos são características que devem ser incluídas em programas de melhoramento genético de codornas de postura, pois podem limitar o número de matrizes disponíveis para os matrizeiros produzirem suas linhagens comerciais. O conhecimento dos parâmetros genéticos para as características economicamente importantes permite definir as estratégias que serão utilizadas no programa. A herdabilidade expressa a confiança do valor fenotípico como indicador do valor genético de uma população (Falconer e Mackay, 1996).

As estimativas de herdabilidade para PT em 210 dias de produção foram 0,06 para L1 e 0,09 para L2 e indicaram que diferenças ambientais entre os indivíduos e efeitos genéticos não aditivos são responsáveis pela variação da característica. As estimativas de herdabilidade deste trabalho estão de acordo com Stivanin *et al.* (2019) que estudaram as mesmas linhagens em uma geração durante 150 dias de produção de ovos e estimaram herdabilidade de 0,05 para L1 e 0,15 para L2. No entanto, as estimativas do presente trabalho foram inferiores as estimativas encontradas no estudo de Hidalgo *et al.* (2011) que estimaram herdabilidade entre 0,82 a 0,86 em três linhagens de codornas de postura em 189 dias de produção de ovos. Narinc *et al.* (2013) estimaram herdabilidade de 0,43 para produção de ovos em codornas de postura, mensurada em 112 dias. As diferenças nas estimativas de herdabilidade do presente estudo em relação a literatura podem ter ocorrido pela diferença no número de dias em que as aves foram avaliadas. Além disso, as linhagens deste estudo foram selecionadas para produção de ovos por 10 gerações e, conforme (Falconer e Mackay, 1996) a seleção praticada ao longo dos anos para uma característica poderia contribuir para diminuir a variabilidade genética e conseqüentemente afetar ou mesmo diminuir a magnitude das estimativas de herdabilidade.

A produção de ovos apresenta variações ao longo do ciclo produtivo das aves. A seleção no período total de produção aumenta o intervalo de geração e as aves

podem ser selecionadas quando apresentam baixa eficiência reprodutiva (Ribeiro *et al.* 2017; Stivanin *et al.* 2019). Para aumentar o ganho genético e o número de ovos produzidos, a seleção de aves de postura pode ser realizada em períodos parciais de produção (Poggenpoel *et al.* 1996). A PP apresentou estimativas de herdabilidade superiores a PT nas linhagens. O PP1 utilizado como critério de seleção no programa de melhoramento genético, apresentou estimativas de herdabilidade superiores aos demais períodos parciais (Tabelas 3 e 4), evidenciando que o início do ciclo de postura apresenta proporção da variância fenotípica atribuída a variância genética aditiva suficiente para a seleção da produção de ovos nestas linhagens de codornas de postura. Assim, seleção das aves considerando o PP1 pode resultar em maior produção de ovos em comparação a seleção realizada na PT. Narina *et al.* (2013) estudaram a produção parcial de ovos em quatro períodos parciais de quatro semanas cada em codornas de postura e estimaram herdabilidade de 0,65, 0,36, 0,36 e 0,38. Khadiga *et al.* (2017) estudaram cinco períodos parciais que corresponderam a soma de quatro semanas cada em codornas de postura e estimaram herdabilidade de 0,17, 0,15, 0,14, 0,10 e 0,10. Conforme os autores, as maiores estimativas de herdabilidade para o primeiro período parcial indicaram que neste período a proporção de variância fenotípica atribuída a variância genética aditiva foi maior. O mesmo foi observado para as estimativas de herdabilidade no PP1 nas linhagens deste estudo.

O PC1 e PO1 apresentaram maiores estimativas de herdabilidade (Tabelas 3 e 4), diminuindo para os demais períodos parciais. A partir dos resultados observou-se que diferenças genéticas aditivas entre os indivíduos foram as principais responsáveis pela variação fenotípica das características. Se o objetivo do programa de melhoramento genético for aumentar o PC e PO, a seleção das aves em períodos parciais resultaria em ganho genético nas características. No entanto, a seleção nestas características deve ser cautelosa. O peso médio dos ovos deve acompanhar a tendência do mercado, que busca ovos uniformes para facilitar o processamento na indústria processadora. Além disso, o aumento no tamanho do ovo pode causar prolapso e como consequência elevar o índice de mortalidade das aves. O peso corporal deve ser monitorado constantemente e, a princípio, deve ser baixo refletindo em baixo consumo e baixo custo de produção. Karami *et al.* (2017) estimaram herdabilidade entre 0,17 a 0,54 para peso dos ovos da segunda a sexta semanas de

produção de ovos em codornas de postura. Nesse estudo, a estimativa de herdabilidade aumentou com a idade das aves nos períodos estudados e isto ocorreu devido ao aumento da proporção da variância fenotípica atribuída a variância genética aditiva. Stivanin *et al.* (2019) estudaram as mesmas linhagens de codornas de postura do presente trabalho e estimaram herdabilidade para peso corporal entre 0,62 - 0,63 para L1 e entre 0,50 - 0,52 para L2, para o peso médio dos ovos as estimativas de herdabilidade foram 0,11 - 0,12 para a L1 e 0,19 - 0,25 para L2. As diferenças nas estimativas de herdabilidade do presente trabalho e dos trabalhos mencionados podem estar relacionadas aos diferentes períodos de colheita de dados. De acordo com Boukila *et al.* (1987), a estimativa de herdabilidade de uma característica pode variar de uma população para outra e na mesma população em diferentes momentos do ciclo de produção.

A idade a maturidade sexual é uma característica importante, pois o início da postura afeta o número de ovos produzidos no ciclo produtivo, o peso dos ovos e a massa de ovos, sendo necessário ajustar a idade adequada para início da postura (El-Dlebshany, 2008; Aboul-Hassan *et al.* 2019; Arumugam *et al.* 2014). Codornas de postura atingem à maturidade sexual entre 35 e 55 dias de idade que coincide com o período que ocorre a postura do primeiro ovo (Mizutani, 2003; Cheng *et al.* 2010; Chimezie *et al.* 2017; Al-Tikriti e Al-Doori, 2018). Camci *et al.* (2002) relataram que codornas com maturidade sexual precoce produzem maior número de ovos sem alterações no peso dos ovos, enquanto codornas com maturidade sexual tardia apresentaram alto peso corporal à maturidade sexual que poderia causar redução na produção total de ovos.

As estimativas de herdabilidade para IMS, PCS e POS indicaram que seria possível obter ganho genético com a seleção individual para estas características (Tabelas 5 e 6). Momoh *et al.* (2014) estimaram herdabilidade de 0,48 (0,17), 0,56 (0,21) e 0,38 (0,18) para idade à maturidade sexual, peso corporal e peso dos ovos à maturidade sexual em 91,25 dias de produção de ovos em codornas de postura criadas na savana da Nigéria. Khadiga *et al.* (2016) avaliaram codornas de postura em um programa de seleção para múltiplas características e estimaram herdabilidade de 0,21 (0,01) para idade à maturidade sexual e 0,25 (0,01) para peso corporal à maturidade sexual. El-Attrouny *et al.* (2020) estimaram, em codornas de postura

mantidas sob seleção, herdabilidade de 0,20 (0,02) para idade à maturidade sexual, 0,24 (0,04) para peso corporal à maturidade sexual e 0,22 (0,02) para peso do ovo à maturidade sexual. Conforme os autores, as estimativas de herdabilidade estão relacionadas a diminuição da variabilidade genética da população em decorrência do programa de seleção, da estrutura da população e das condições ambientais. As estimativas de herdabilidade para as linhagens deste estudo estão de acordo com as estimativas reportadas pelo autores.

As estimativas de correlações genéticas são importante pois permitem conhecer a magnitude e a direção da associação genética linear de determinada característica com outra e se é possível obter resposta correlacionada. As estimativas de correlações genéticas entre PT e PP foram positivas em todos os períodos parciais e indicaram que existe associação genética linear proporcional entre as características e que é possível obter ganho genético na produção total de ovos ao selecionar as linhagens pela produção parcial (Tabelas 3 e 4). Na L1, maior estimativa de correlação genética foi observada entre PT e PP1 (0,85), quando comparada as correlações de PT com os demais períodos parciais de produção. Para a L2 a estimativa de correlação genética entre PT e PP1 (0,64) foi a menor comparada as demais correlações genéticas de PT com os períodos parciais. Ressalta-se que a estimativa de herdabilidade para PP1 (0,16) foi maior comparada aso demais períodos (Tabela 4). Assim, a seleção das linhagens pelo PP1 pode aumentar a produção total de ovos e manter o intervalo de gerações. Além disso, a seleção ocorre quando as aves apresentam maior eficiência reprodutiva, o que pode resultar em maior número de pintainhas disponíveis para produção de matrizes. Estes resultados estão de acordo com Daikwo *et al.* (2014) que estimaram correlações genéticas de 0,91 para produção total em 365 dias de postura e parcial de ovos em 90 dias em codornas de postura, o resultado indicou que a seleção no período parcial aumentaria o número de ovos produzidos e diminuiria o intervalo de geração nestas linhagens de codornas. Khadiga *et al.* (2017) estimaram correlações genéticas de 0,65 a 0,91 para produção parcial de ovos em cinco períodos parciais de 30,5 dias cada e produção total de ovos em codornas de postura. Nesse trabalho, os autores recomendam a seleção com base no primeiro período parcial afim de reduzir o intervalo de gerações e permitir obter maior progresso genético na produção total de ovos.

As estimativas de correlações genéticas entre PT e PO foram negativas em todos os períodos parciais para a L2 (Tabela 4). Para esta linhagem, a seleção para PT pode diminuir o PO e assim, para obter ganho na produção e peso dos ovos, a seleção deve incluir ambas as características. Os resultados desse estudo diferem daqueles encontrados por Hidalgo *et al.* (2011), que estimaram correlações genéticas positivas (0,58, 0,09 e 0,09) entre produção total e peso dos ovos em três linhagens de codornas de postura. Stivanin *et al.* (2019) estimaram correlações genéticas positivas (0,45 a 0,49) entre produção total e peso dos ovos em codornas de postura.

A produção parcial de ovos é o critério de seleção do programa de melhoramento genético das linhagens L1 e L2. O conhecimento das estimativas de correlações genéticas entre a produção parcial e peso corporal da ave e peso médio dos ovos pode auxiliar nas decisões de seleção. As estimativas de correlações genéticas foram negativas entre o PP2 e PC2 e PP2 e PO2 na L1 (Tabela 7) e para a L2 entre PP4 e PO4 e PP6 e PO6 (Tabela 8). A partir desses resultados, sugere-se que a seleção para produção parcial de ovos nos períodos mencionados possa ser utilizada para reduzir o peso corporal das aves na L1 e peso dos ovos em ambas as linhagens caso necessário. Kumari *et al.* (2012) estimaram correlações genéticas positivas (0,18 a 0,43) entre peso corporal em quatro semanas de idade e produção parcial de ovos em 12, 16 e 20 semanas de idade em codornas japonesas selecionadas para peso corporal, indicando que seria possível obter ganhos com a seleção em períodos parciais.

As características PC e PO apresentaram correlações genéticas positivas em todos os períodos parciais (Tabela 7 e 8). Estimativas superior aos demais períodos para as duas linhagens foi encontrada entre PC1 e PO1. Estes resultados indicaram que a seleção considerando aumentar o peso médio dos ovos resultaria em ganho no peso corporal da ave. No entanto, como mencionado para as estimativas de herdabilidade, a seleção considerando estas características deve ser cautelosa. As estimativas de correlações genéticas encontradas neste trabalho foram superiores as estimativas de correlações genéticas para peso corporal e peso dos ovos (0,21 e 0,59) estimadas em duas linhagens de codornas (Mielenz *et al.* 2006). Ozsoy *et al.* (2011) estimaram correlações genéticas de 0,10 e 0,11 para peso corporal em duas e quatro semanas de idade e peso dos ovos em 15 semanas de idade. No entanto,

estão de acordo com as estimativas de correlações genéticas estimadas para peso corporal e peso dos ovos em nove, dez, onze e doze semanas de idade (0,59 a 0,90) (Lofti *et al.* 2012).

Correlações genéticas positivas foram estimadas entre IMS com PCS e POS e entre PCS e POS em ambas as linhagens (Tabelas 11 e 12). Esses resultados indicaram que existe associação genética linear entre as características e a seleção para IMS pode resultar em ganho no peso corporal e peso dos ovos na idade à maturidade sexual. Estes resultados estão de acordo com Mahmoud *et al.* (2016) que estimaram correlações genéticas de 0,48 (0,52) e 0,60 (0,50) entre idade à maturidade sexual com peso corporal e peso dos ovos à maturidade sexual em codornas de postura. El-Attrouny *et al.* (2020) estimaram correlações genéticas positivas de 0,43 e 0,20 entre idade à maturidade sexual com peso corporal e peso dos ovos à maturidade sexual e, para peso corporal e peso dos ovos à maturidade sexual a estimativa de correlação genética foi 0,28 em codornas de postura. Os resultados deste trabalho indicaram que aves com menor idade a maturidade sexual apresentam maior peso corporal e peso dos ovos neste mesmo período.

A estimativa de correlação genética entre IMS e PT foi negativa na L1 (-0,62). Esse resultado indicou que aves que iniciaram a postura precocemente produziram maior número de ovos no ciclo produtivo, de acordo com Hidalgo *et al.* (2011), El-Attrouny *et al.* (2020) e Monika *et al.* (2021) que estimaram correlações genéticas negativas entre idade à maturidade sexual e produção de ovos em linhagens de codornas de postura. Conforme os autores, a seleção para idade à maturidade sexual produz ganho genético correlacionado na produção de ovos, que também poderia ser observado para a L1 neste estudo.

As estimativas de correlações fenotípicas entre PT e PP foram positivas em todos os períodos parciais e a menor estimativa ocorreu entre PT e PP1 em ambas as linhagens (Tabelas 9 e 10). Estes resultados indicaram que foi possível evidenciar associação fenotípica linear entre as características, de acordo com Khadiga *et al.* (2017), que estimaram correlações fenotípicas positivas (0,54 a 0,87) para produção total e parcial de ovos em cinco períodos parciais em codornas de postura.

Para as características PT e PC1 foi estimada correlação fenotípica positiva na L1. Para PT e PO2 a estimativa de correlação fenotípica foi positiva na L1 (Tabela 9

e 10). Maiores estimativas de correlações fenotípicas entre produção e peso dos ovos em três linhagens de codornas de postura (0,18, 0,09 e 0,10) foram encontradas por Hidalgo *et al.* (2011).

A tendência genética permite avaliar as mudanças que o processo de seleção pode causar em determinada característica com o passar das gerações de seleção. A estimação da tendência genética permite orientar, conduzir e pode auxiliar a definir os objetivos de seleção (Vayego *et al.* 2008; Weber *et al.* 2009). Na L2 com a análise de tendência genética foi observada mudança genética significativa para produção de ovos ($p=0,0129$) com aumento de 0,0125 ovos produzidos em cada geração de seleção. A tendência genética crescente nesta linhagem está de acordo com o resultado encontrado por El Attrouny *et al.* (2020), que estimaram por meio de tendência genética o aumento gradual dos valores genéticos para a produção de ovos em quatro gerações de codornas de postura selecionadas em 90 dias de produção. Estes resultados indicaram que a seleção para aumentar o número de ovos foi eficiente com o passar das gerações na L2. No entanto, para a L1 a produção de ovos não apresentou mudança genética significativa.

Para o peso corporal da ave na L2, a tendência genética foi significativa ($p=0,0017$) e a cada geração de seleção ocorreu decréscimo de -0,05 gramas no peso corporal, que pode ser desejável visto que se busca manter ou diminuir o peso corporal. Na L1 a tendência genética foi significativa para peso médios dos ovos com decréscimo de -0,002 gramas a cada geração de seleção, porém diminuir o peso dos ovos pode ser indesejável. As análises de tendências genéticas indicaram que as linhagens deste estudo responderam de forma diferente ao processo de seleção em que estão submetidas, embora os critérios de seleção sejam os mesmos. Progresso genético foi observado na produção de ovos na L2, enquanto na L1 a tendência genética não evidenciou mudança genética na produção de ovos. O peso médio dos ovos na L1 e o peso corporal da ave na L2 foram favorecidos pela seleção indireta na produção de ovos. No entanto, as linhagens são utilizadas em um cruzamento para formação da linhagem comercial, em que pode ser obtido o efeito da complementariedade.

A eficiência relativa de seleção foi calculada para verificar o efeito da seleção indireta para a produção total de ovos quando a seleção fosse praticada em períodos

parciais de produção de ovos. A partir dos resultados foi possível avaliar se o critério de seleção utilizado (produção de ovos nos primeiros 60 dias de postura) permanece indicado para a seleção das linhagens. O PP1 apresentou maior estimativa de eficiência relativa de seleção em ambas as linhagens, para L1 a estimativa foi 1,55 enquanto para L2 a estimativa foi 0,85. Em ambas as linhagens os demais períodos parciais apresentaram eficiência relativa de seleção inferior ao PP1. Para L1, a seleção das aves neste período é vantajosa em relação a seleção pelo período total. Para L2 a seleção direta na produção total de ovos é vantajosa visto que, a eficiência relativa de seleção foi menor que 1. No entanto, recomenda-se o uso do registro PP1 para ambas as linhagens dado que, o processo de seleção será simultâneo, a avaliação genética ocorrerá duas vezes ao ano e permite que a reprodução das aves ocorra no período de maior eficiência reprodutiva. A utilização do PP1 pode aumentar o número de fêmeas disponíveis para produção de ovos e o número de pintainhas disponíveis para comercialização. Isso pode possibilitar que a demanda do mercado por aves de um dia ou recriadas e comercializadas aos 35 dias seja atendida. Estes resultados estão de acordo com Stivanin *et al.* (2019) que encontraram pequenas variações na eficiência relativa de seleção em quatro períodos parciais em uma geração indicando que o primeiro período parcial para seleção de linhagens de codornas de postura. Teixeira *et al.* (2013) e Ribeiro *et al.* (2017), recomendaram a utilização de períodos parciais para seleção de codornas de corte para produção de ovos, visto que o intervalo de geração diminuiu e foi possível selecionar as aves mais de uma vez ao ano.

Para os programas de melhoramento genético de codornas de postura a produção de ovos é a característica de maior importância e é o critério de seleção. Conforme as estimativas de parâmetros genéticos, ao realizar a seleção no primeiro período parcial, a expectativa é que a produção total de ovos seja favorecida indiretamente. As análises de tendência genética indicaram que o progresso genético foi diferente nas linhagens, no entanto, para formação das linhagens comerciais são realizados cruzamentos e, desta forma é possível obter os efeitos da complementariedade entre as linhagens. Assim, as linhagens comerciais podem produzir mais ovos, com peso dos ovos e corporal adequados as exigências do mercado.

5. CONCLUSÃO

As informações obtidas neste estudo são importantes para auxiliar o aprimoramento do programa de melhoramento genético. As estimativas de parâmetros genético e eficiência relativa de seleção indicaram que o primeiro período parcial, que corresponde aos primeiros 60 dias do ciclo de postura, é o critério de seleção recomendado nestas linhagens e pode permitir a realização de mais de um ciclo de seleção ao ano e manter o intervalo de gerações. A partir das tendências genéticas observou-se que existem diferenças entre as linhagens em relação à resposta a seleção e assim, a utilização do cruzamento entre as duas linhagens permite utilizar os efeitos da complementariedade de ambas para a formação da linhagem comercial.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aboul-Hassan MA, Aboul-Seoud DI, Ramzy AA (2019) Direct and correlated responses from selection for early sexual maturity in Japanese quail. **Archives of Agricultural Sciences Journal** 2: 28-40.

Arumugam R, Prabakaran R, Sivakumar T (2014) Sexual maturity in cross bred Japanese quail breeders under cage deep litter systems of rearing. **Journal of Global Biosciences** 3: 1111-1115.

Al-Tikriti SSA (2018) The effect of the selection for the age trait at sexual maturity of two generations in the productive performance of black japanese quail bird. **Advances in Animal and Veterinary Sciences** 6:12: 548-555. DOI <http://dx.doi.org/10.17582/journal.aavs/2018/6.12.548.555>

Boukila B, Desmarais M, Pare JP, Bolamba D (1987) Selection for increased egg production based on annual record in three strains of white Leghorns: 1. Comparison of different partial records to improve annual egg production. **Poultry Science** 66: 1077-1084.

Camci Ö, Erensayin C, Aktan S (2002) Relations between age at sexual maturity and some production characteristics in quails. **Archiv Geflügelkunde** 66: 280-282.

Chimezie VO, Fayeye TR, Toye AA, Ayorinde KL, Ayeni BO (2017) Relationship Between Age and Body Weight at Sexual Maturity and Some Egg Production Traits In Three Varieties of Japanese Quails. **International Journal of Agricultural and Veterinary Sciences** 3:3 26-33 DOI: 10.18819/ijavs.2017.1564

Cheng KM, Bennett DC, Mills AD (2010) The Japanese quail The Ufaw Handbook on The Care and Management of Laboratory and Other Animals, Eighth Edition, pp. 655-673. <https://doi.org/10.1002/9781444318777.ch42>

Daikwo SI, Dim NI, Momoh OM (2014) Genetic parameters of some Egg Production traits in Japanese quail in a tropical Environment. **Journal of Agriculture and Veterinary Science** 7: 39-42.

Durmus I, Alkan S, Nariç D, Karabag K (2017) Effects of mass selection on egg production on some reproductive traits in Japanese quail. **European Poultry Science** 81 DOI: 10.1399/eps.2017.168.

EI-Dlebshany A E (2008) The relationship between age at sexual maturity and some productive traits in local chickens strain. **Egyptian Poultry Science** 28:1253 – 1263.

EI-Attrouny MM, Iraqi MM (2020) Correlated responses to short-term selection for egg production traits in Japanese Quail. **Asian of Journal Poultry Science** 14:24-31 DOI: 10.3923/ajpsaj.2020.24.31.

Falconer DS, Mackay TFC (1996) **Introduction to quantitative genetics**. 4^a edition. Edinburgh, Longman Group Limited. p. 464.

Hidalgo AM, Martins EN, Santos AL, Quadros CO, Ton APS, Teixeira R (2011) Genetic characterization of egg weight, egg production and age at first egg in quails. **Revista Brasileira de Zootecnia** 40: 95-99.

Jatoi AS, Sahota AW, Akram M, Javed K, Jaspal MH, Hussain J, A. H. Mirani AH Mehmood S (2013) Effect of different body weight categories on the productive performance of four close-bred flocks of japanese quails (*Coturnix coturnix japonica*). **The Journal of Animal & Plant Sciences** 23(1) 7-13.

Khadiga AG, Mahmoud BYF, EI-Full (2016) Genetic evaluation of early egg production and maturation traits using two different approaches in Japanese quail. **Poultry Science** 95:774–779 <http://dx.doi.org/10.3382/ps/pev386>.

Khadiga AG, Mahmoud BYF, Farahat GS, Emam AM, El-Full EA (2017) Genetic analysis of partial egg production records in Japanese quail using random regression models. **Poultry Science** 96: 2569-2575 <https://doi.org/10.3382/ps/pex081>.

Karami K, Zerehdaran S, Barzаноoni B, Lotfi E (2017) Genetic analyses of partial egg production in Japanese quail using multi-trait random regression models. **British Poultry Science** 58: 624-628 DOI: 10.1080/00071668.2017.1378423.

Kumari BP, Gupta BR, Prakash MG, Reddy AR, Reddy KS (2012) Estimation of genetic parameters and construction of multitrait selection indices in Japanese quails. **Indian Journal of Poultry Science**, 47: 1-5.

Lotfi E, Zerehdaran S, Azari AM (2012) Estimation of genetic parameters for egg production traits in Japanese quail (*Coturnix cot. japonica*). **Archiv Geflügelkunde** 76:131–135.

Lopes, PS et al. **Teoria do melhoramento animal**. Belo Horizonte: FEPMV, 2005. 118p.

Mielenz N, Noor RR, Schüler L (2006) Estimation of Additive and Non-Additive Genetic Variances of Body Weight, Egg Weight and Egg Production for Quails (*Coturnix japonica*) with an Animal Model Analysis. **Archives Animal Breeding** 49: 300-307.

Misztal I, Tsuruta S, Lourenco D, Masuda Y, Aguilar I, Legarra A, Vitezica Z (2018) **Manual for BLUPF90 family of programs**. Disponível em: http://nce.ads.uga.edu/wiki/lib/exe/fetch.php?media=blupf90_all7.pdf.

Mizutani M (2003) **The Japanese Quail**. Laboratory Animal Research Station, Nippon Institute for Biological Science, Kobuchizawa, Yamanashi, Japan. 408.

Momoh OM, Gambo D, Dim NI (2014) Genetic parameters of growth, body, and egg traits in Japanese quails (*Coturnix japonica*) reared in southern guinea savannah of Nigeria. **Journal of Applied Biosciences** 79:6947 – 6954.

Monika M, Rokadae JJ, Narayan R, Verma MR, Panda S, Saharia J (2021) Genetic Evaluation of Egg Production and Egg Quality Attributes in Japanese Quails through Partial Periods. **Indian Journal of Animal Research** 10.18805/IJAR.B-4205.

Mahmoud BYF, Khadiga GA, El-Full EA (2016) Correlated response to selection for some egg performance traits in egg line of Japanese quail. **Animal Production Science** **56**: 913-917 <https://doi.org/10.1071/AN14114>.

Narinc D, Karaman E, Aksoy T (2013) Estimation of genetic parameters for monthly egg production in Japanese quail based on Bayesian inference. VI INTERNATIONAL BALKAN ANIMAL CONFERENCE. Turkey

NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. **Nutrient Requirements of Poultry**. Washington. D.C: National Academy Press. 9 ed. 1994. P 156.

Özsoy NA, Aktan S (2011) Estimation of Genetic Parameters for Body Weight and Egg Weight Traits in Japanese Quails. **Trends in Animal & Veterinary Sciences Journal** **2**:17-20.

Pereira JCC (2012) **Melhoramento genético aplicado à produção animal**. Fepmvz. 758.

Plummer M, Best N, Cowles K, Vines K (2006) CODA: Convergence Diagnosis and Output Analysis for MCMC, *R News* **6**: 7-11.

Poggenpoel, DG; Ferreira, GF; Hayes, JP; Preez. Du. JJ (1996) Response to long-term selection for egg production in laying hens. **British Poultry Science**, **37**: 743-756.

Ribeiro JC, Silva LP, Soares ACC, Caetano GC, Leite CDS, Bonafé CM, Sousa MF, Torres RA (2017) Genetic parameters for egg production in meat quails through partial periods. **Ciência Rural**, **47**: 4.

R Core Team (2022) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Áustria. URL <https://www.R-project.org/>.

Silva MA (2009) Conceitos de genética quantitativa e de populações aplicados ao melhoramento genético. Fepmvz. 184p.

Stivanin TE, Costa Maia FMC, Migliorini E, Kluska S, Amorim ST, Lovatto FS, Martins EN (2019) Evaluation of selection criteria in laying quail (*Coturnix japonica*). **Livestock Research for Rural Development** 31.

Teixeira BB, Euclides RF, Silva LP, Torres R de A, Silva FG da, Carneiro APS, Lehner HG, Teixeira RB (2013) Utilização de dados parciais na seleção de codornas de corte para produção de ovos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 48: 559-563 doi.org/10.1590/S0100-204X2013000500013.

Vayego SA, Dionello NJL, Figueiredo EAP de (2008) Estimativas de parâmetros e tendências genéticas para algumas características de importância econômica em linhagem paterna de frangos de corte sob seleção. **Revista Brasileira de Zootecnia** 37:1230–5 doi.org/10.1590/S1516-35982008000700013.

Viana CFA, Silva MA, Pires AV, Fonseca R, Soares PR (2000) Influência de Grupos Genéticos e de Níveis de Energia sobre Características de Carcaça de Frangos de Corte. **Revista brasileira de zootecnia** 29:1067-1073.

Visscher PM, Hill WG, Wray NR (2008) Heritability in the genomics era--concepts and misconceptions. **Nature Reviews Genetics**. 9:4: 255-66. doi: 10.1038/nrg2322.

Weber T, Rorato PRN, Lopes JS, Comin JG, Dornelles M de A, Araújo RO de (2009) Parâmetros genéticos e tendências genéticas e fenotípicas para características produtivas e de conformação na fase pré-desmama em uma população da raça Aberdeen Angus. **Revista Brasileira de Zootecnia** 38: 832-42 <https://doi.org/10.1590/S1516-35982009000500008>.

CAPÍTULO 3 – AJUSTE DA CURVA DE PRODUÇÃO DE OVOS EM CODORNAS DE POSTURA UTILIZANDO MODELOS NÃO LINEARES

RESUMO: as curvas de produção de ovos descrevem os padrões de postura ao longo do ciclo produtivo de codornas de postura. Neste trabalho, o objetivo foi utilizar modelos não lineares para ajustar curvas de produção de ovos em duas linhagens de codornas de postura selecionadas para produção de ovos. O conjunto de dados pertence as linhagens de codornas de postura L1 e L2 mantidas sob seleção pelo programa de melhoramento genético da empresa Vicami Codornas. A produção de ovos de 1248 aves da L1 e 1030 aves da L2 foi colhida no período de 31 semanas de postura que corresponderam da 5^a a 35^a semanas de idade das aves. Para ajustar as curvas de produção de ovos foi considerada a taxa de postura semanal nesse período e foram usados os modelos não lineares de Brody, Von Bertalanffy, Von Bertalanffy adaptado, Richards, Logístico I e II, compartmental modificado, compartmental, Wood, Compartmental e McNally. A qualidade do ajuste de cada modelo não linear foi avaliada por meio do critério de informação de Akaike, erro quadrático médio, erro do modelo e análise gráfica. O pico observado de produção de ovos foi de 95% e para L1 ocorreu entre a 10^a a 16^a semanas de postura e para a L2 o pico ocorreu entre a 12^a a 15^a semana de postura. A taxa média observada de produção de ovos foi de 86% no período de 31 semanas de postura. Nos modelos Logístico I e II e compartmental modificado, o pico de produção de ovos foi estimado em 97% na L1 e 98% na L2. O uso dos modelos não lineares para ajustar curvas de produção de ovos estimar a variação no decorrer do ciclo produtivo das linhagens. Os modelos Logístico I, Logístico II e Compartmental modificado podem ser utilizados para predizer a curva de produção de ovos nas linhagens de codornas de postura, considerando a interpretação biológica dos seus parâmetros e os critérios de qualidade de ajuste.

Palavras-chave: *cturnix coturnix japonica*, curvas de produção de ovos, pico de postura

CHAPTER 3 - EGG PRODUCTION CURVE FITTING OF LAYING QUAIL USING NONLINEAR MODELS

ABSTRACT: egg production curves depict the laying patterns during the production cycle of laying quails. This study aims to utilize non-linear models to adjust the egg production curves in two lines of laying quails chosen for their egg production. The dataset pertains to the L1 and L2 laying quail lines that are under selection by the genetic improvement program of Vicami Codornas company. Egg production data was gathered from 1248 L1 birds and 1030 L2 birds over a 31-week laying period spanning from the birds' 5th to 35th weeks of age. Weekly laying rates were considered to analyze egg production curves. Non-linear models, including Brody, Von Bertalanffy, adapted Von Bertalanffy, Richards, Logistic I and II, modified compartmental, compartmental, Wood, Compartmental and McNally, were utilized. The non-linear models' fit quality was evaluated using Akaike's information criterion, root mean square error, and graphical analysis. Additionally, the model error was considered. L1's peak occurred between the 10th and 16th weeks of lay, and for L2, it occurred between the 12th and 15th weeks of lay. The observed peak in egg production was 95%. The average egg production rate observed during the 31-week laying period was 86%. Peak egg production was estimated at 97% in L1 and 98% in L2 using the Logistic I and II and modified compartmental models. Non-linear models were used to adjust egg production curves and estimate variation over the production cycle of the strains. These models, including the Logistic I, Logistic II, and modified Compartmental models, can predict the egg production curve of laying quail breeds while considering the biological interpretation of their parameters and the quality of fit criteria.

Keywords: coturnix coturnix japonica, egg production curves, peak laying

1. INTRODUÇÃO

A produção de ovos é a característica de maior importância econômica considerada no processo de seleção conduzido em programas de melhoramento genético de codornas de postura. A importância econômica da característica está relacionada ao número de ovos produzidos determinar a capacidade das empresas detentoras das linhagens em disponibilizar pintainhas para a comercialização. A produção de ovos apresenta variações ao longo do ciclo produtivo. É uma característica quantitativa controlada por um grande número de pares de genes e, é influenciada por fatores ambientais.

As mudanças que ocorrem durante o ciclo produtivo das aves podem ser evidenciadas por meio do ajuste de uma curva de produção de ovos, representada por modelos não lineares (Adams e Bell 1980; Grossman e Koops 2001; Safari-Aliqiarloo *et al.* 2018; Kuhl e France 2019). O conhecimento da variação da produção de ovos auxilia na predição da característica em qualquer período do ciclo de produtivo (Bindya *et al.* 2010). Ao considerar os parâmetros das curvas de produção de ovos como variáveis biológicas, as informações fornecidas podem auxiliar os programas de melhoramento genético em termos de criação, manejo e seleção (Cruz *et al.* 2013; Ahmadu *et al.* 2017).

Vários modelos não lineares podem ser utilizados para descrever a curva de produção de ovos em aves. Os modelos de Brody, Von Bertalanffy, Richards e Nelder (Logístico I) foram desenvolvidos para ajustar curvas de crescimento em animais (Brody, 1945; Von Bertalanffy, 1957; Richards, 1959; Nelder, 1961, respectivamente). O modelo de Wood ou função gama incompleta foi desenvolvido para ajustar curvas de lactação em bovinos leiteiros (Wood, 1967). O modelo McMillan ou compartmental foi desenvolvido para ajustar curvas de produção de ovos em *Drosophila melanogaster* e posteriormente foi utilizado para descrever a produção de ovos em aves (McMillan *et al.* 1970; Congleton *et al.* 1981; Gavora *et al.* 1982).

O modelo de McNally foi adaptado do modelo de Wood para ajustar curvas de produção de ovos em poedeiras (McNally, 1971). O modelo de Yang ou Compartmental modificado foi desenvolvido devido as limitações apresentadas pelos modelos de McMillan e Wood. O modelo de McMillan estima aumento lento na

produção inicial de ovos até atingir o pico de postura (Yang *et al.* 1989). O modelo de Wood não é capaz de ajustar dados que apresentam alterações abruptas da curva e apresenta dificuldade para ajustar o início da produção de ovos e não identifica o ponto de inflexão da curva nos períodos iniciais de postura (Congleton *et al.* 1981).

A utilização de modelos não lineares no ajuste da produção animal permitiu descrever e compreender os processos biológicos que ocorrem no ciclo produtivo (Safari-Aliqarloo *et al.* 2018). Em aves, estes modelos podem ser utilizados para ajustar e prever a produção de ovos. Além disso, modelos não lineares utilizados para ajustar curvas de produção possuem parâmetros com interpretação biológica, que permitem avaliar a produção de ovos durante todo o ciclo de postura (Sharifi *et al.* 2022). Conforme Narinc *et al.* (2013), a produção de ovos em codornas de postura inicia com a idade à maturidade sexual, seguida do pico de produção e queda na produção com o aumento da idade das aves. Em outras populações de aves, a produção de ovos segue a mesma tendência (Gavora *et al.* 1982; Savegnago *et al.* 2012 e Wolc *et al.* 2020).

A descrição da curva de produção de ovos permite identificar a taxa de postura, o pico de produção, a persistência de postura e o encerramento do ciclo produtivo. Em codornas de postura, essas informações ainda não são bem conhecidas. De acordo com Narinc *et al.* (2014), isto pode estar relacionado ao maior tempo necessário para acompanhar a produção de ovos, em comparação a modelagem para crescimento. Em codornas, a maioria dos estudos com modelos não lineares são desenvolvidos para estimar curvas de crescimento em linhagens de postura (Narinc *et al.* 2010; Kaplan *et al.* 2018; Junior *et al.* 2023).

No entanto, são escassos estudos que utilizam modelos não lineares para ajustar curvas de produção de ovos em linhagens de codornas de postura mantidas sob seleção. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi utilizar modelos não lineares para ajustar curvas de produção de ovos em duas linhagens de codornas selecionadas para produção de ovos, estimar a taxa de postura, o pico de produção e a persistência de postura das linhagens e, assim, auxiliar as decisões do programa de melhoramento genético destas linhagens.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 ORIGEM DOS DADOS

O conjunto de dados utilizado é referente as linhagens de codornas de postura L1 e L2 desenvolvidas e mantidas sob seleção pelo programa de melhoramento genético da empresa Vicami Codornas, localizada em Assis, São Paulo. As aves foram identificadas com anilhas numeradas e coloridas de acordo com a linhagem e eclosão. As aves foram alojadas e criadas em gaiolas coletivas até 28 dias de idade, quando foram transferidas para o galpão de postura, separadas por sexo e alojadas em gaiolas individuais identificadas. As aves receberam ração e água *ad libitum*. Na fase de crescimento, a ração continha 23% de proteína bruta e 2900 Kcal de energia metabolizável. Para codornas em postura, a ração continha 20% de proteína bruta e 2800 Kcal de energia metabolizável.

Os bancos de dados utilizados para ajustar curvas de produção de ovos contem registros da produção de ovos semanal de 1248 fêmeas pertencentes a L1 e 1030 fêmeas da L2 oriundas de três incubações. A colheita de dados foi realizada durante o período de 31 semanas de postura que corresponderam da 5^a a 35^a semanas de idade das aves. A produção de ovos foi colhida durante sete dias na semana. A produção semanal de ovos foi expressa em porcentagem (taxa de postura), sendo sete o número máximo de ovos que uma ave poderia pôr na semana. Foram eliminadas dos bancos de dados aves com produção inferior a 50 ovos (23,80% de produção de ovos), seguindo os critérios do programa de melhoramento.

2.2 MODELOS NÃO LINEARES

Os ajustes das curvas de produção de ovos foram realizados utilizando todas as observações de todos os animais. Na tabela 1 são descritos os modelos não lineares utilizados para ajustar a curva de produção de ovos.

Tabela 1- Modelos não lineares utilizados para ajustar curvas de produção de ovos

Modelo	Equação	Autor
Brody	$y_t = a (1 - b e^{-ct}) e^{-xt}$	Brody (1945)
Von Bertalanffy	$y_t = a (1 - b e^{-ct})^3 e^{-xt}$	Von Bertalanffy (1957)
Von Bertalanffy adaptado	$y_t = [a^{(1-d)} - b e^{-ct}]^{1+(1-d)} e^{-xt}$	Cason e Ware (1990)
Richards	$y_t = a (1 - b e^{-ct})^d e^{-xt}$	Richards (1959)
Logístico I	$y_t = a (1 + b e^{-ct})^{-1} e^{-xt}$	Nelder (1961)
Logístico II	$y_t = [1 + e^{(c+dt)}]^{-1} e^{-xt}$	Cason e Britton (1988)
Compartmental modificado	$y_t = \frac{a e^{-xt}}{1 + e^{-c(t-d)}}$	Yang et al (1989)
Compartmental	$y_t = a [1 - e^{-c(t-d)}] e^{-xt}$	McMillan (1970)
Wood	$y_t = a t^b e^{-ct}$	Wood (1967)
McNally	$y_t = a t^b e^{[-ct+dt^{(0,5)}]}$	McNally (1971)

Em todos os modelos apresentados, “y” é a taxa de postura em “t” semanas de produção. O parâmetro “a” corresponde ao valor assintótico que ajusta a produção de ovos no pico de postura; “b” é o valor associado ao crescimento da curva de produção de ovos. A constante “c” desempenha papel adicional na equação. O parâmetro “x” representa o decréscimo da produção de ovos após o pico. Para os modelos Richards, Compartmental e Compartmental modificado o parâmetro “d” possui interpretação biológica específica representando a taxa média de produção a idade à maturidade sexual. Nos demais modelos, o parâmetro “d” não possui interpretação biológica. Para os modelos Brody, Von Bertalanffy, Richards e Logístico I foi acrescentado o termo e^{-xt} (Brody *et al.* 1923; Cason e Ware 1990) que descreve o decréscimo da produção de ovos após o pico de postura, em que “e” é o algarismo neperiano, “x” é o parâmetro associado ao decréscimo da produção e “t” é o período da produção em semanas de postura.

O ajuste dos modelos não lineares foi realizado pelo método iterativo de Gauss-Newton, descrito por Hartley (1961). A estimação dos parâmetros dos modelos foi realizada por meio do procedimento NLIN do programa SAS (SAS Institute Inc., 2008).

2.3 CRITÉRIO DE QUALIDADE DOS AJUSTES DOS MODELOS

A qualidade do ajuste de cada modelo não linear foi avaliada por meio do critério de informação de Akaike (AIC), do erro do modelo (MER), do erro quadrático médio (MSE) e análise gráfica para interpretação biológica dos parâmetros estimados.

Critério de informação de Akaike (AIC): usado para corrigir o erro dos modelos ajustados às curvas levando em consideração a simplicidade e o número de parâmetros do modelo. Os menores valores de AIC indicam melhor qualidade no ajuste (Akaike, 1974). O critério de informação de Akaike (AIC) foi calculado da seguinte forma:

$$AIC = n \cdot \ln\left(\frac{SS_{\text{Erro}}}{n}\right) + 2 \cdot K$$

em que, n é o número de pontos da curva de dados, k é o número de parâmetros no modelo e SS_{Erro} representa a soma de quadrados do resíduo.

Erro do modelo (MER): razão entre o desvio da taxa média predita de produção de ovos em relação a taxa média de produção de ovos observada e a taxa média de produção de ovos observada. O Erro do modelo (MER) em t semanas de produção foi calculado como:

$$MER_{t=} \frac{\hat{y}_t - \bar{y}_t}{\bar{y}_t}$$

em que, \hat{y}_t é a taxa média predita da produção de ovos em determinada idade; \bar{y}_t é a taxa observada de produção de ovos na mesma idade.

Quando o valor predito e observado são iguais, o desvio da taxa de produção de ovos ajustada na semana t é zero. Quando o valor predito é maior que o valor observado, a produção de ovos em t é superestimada. Quando o valor predito é menor que o valor observado, a predição da produção de ovos em t semana é subestimada.

Erro quadrático médio (MSE): é uma medida de desempenho para descrever a qualidade e selecionar o melhor modelo de um conjunto de modelos (Otwinska-Mindur *et al.* 2016; Pham, 2019). Quanto menor o valor do MSE melhor o ajuste do modelo. O erro quadrático médio foi calculado da seguinte forma:

$$MSE = \frac{SSE}{n - k}$$

em que, SSE soma de quadrado do resíduo; n é o número de observações; k é o número de parâmetros.

3. RESULTADOS

A taxa de postura média de produção de ovos observada no período de 31 semanas foi de 86% e o pico observado de produção de ovos foi de 95% para ambas as linhagens. Na L1, o pico de produção observado ocorreu entre a 10^a a 16^a semanas de postura que correspondem a 14^a a 20^a semana de idade das aves. Para a L2 o pico observado de produção de ovos ocorreu entre a 12^a a 15^a semana de postura que correspondem a 16^a a 19^a semana de idade. Na 20^a semana de postura foi observada queda na produção de ovos nas duas linhagens. Na 31^a semana de postura observou-se o maior decréscimo na produção de ovos encerrando o ciclo de postura em ambas as linhagens (Figura 1).

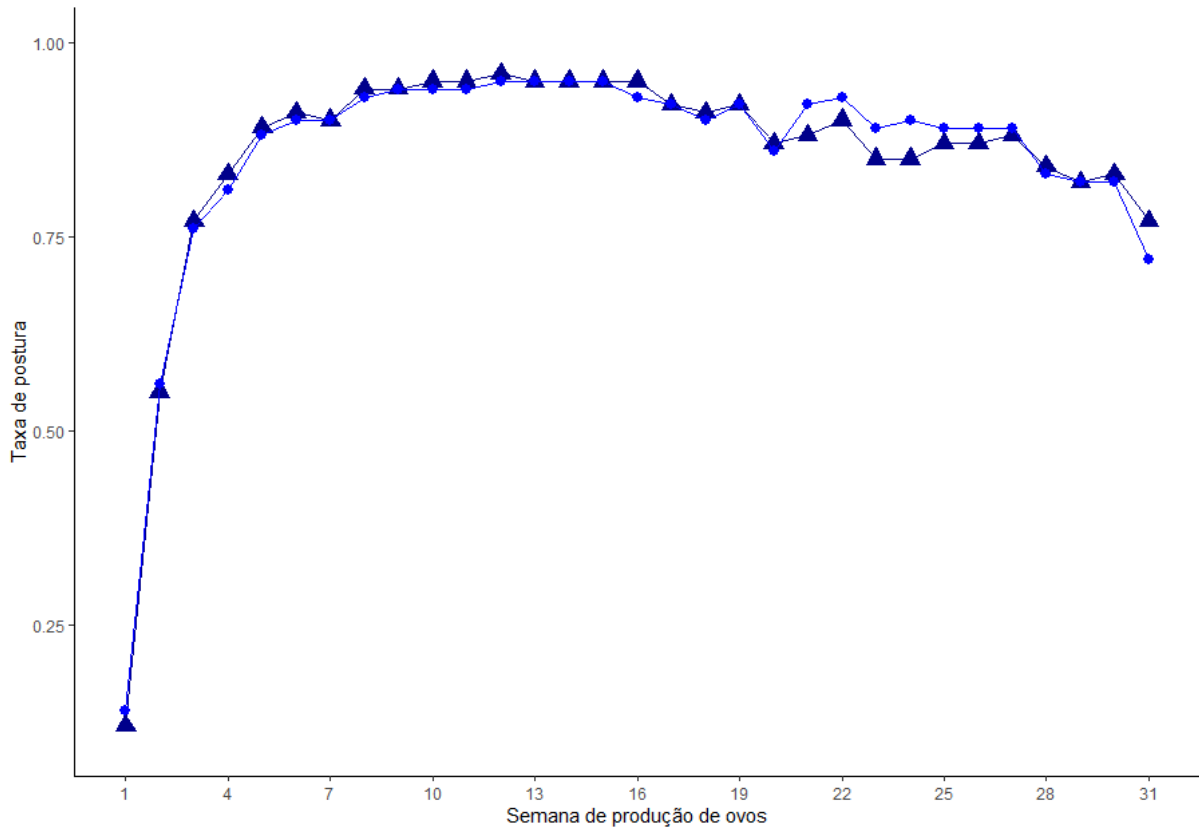


Figura 1: Curvas da taxa de postura observada em função da semana de produção de ovos (1 a 31) para linhagem de codornas poedeiras L1 (▲) e L2 (●).

Os critérios de ajuste dos modelos não lineares foram similares nas linhagens (Tabelas 1 e 2). O menor AIC foi observado no modelo de Wood, no entanto, este modelo não estimou corretamente a produção de ovos no pico de postura (parâmetro “a”), o aumento da produção de ovos (parâmetro “b”) e o decréscimo da produção de ovos (parâmetro “x”) em ambas as linhagens (Tabela 1 e 2). Os modelos de Von Bertalanffy adaptado e Richards apresentaram maiores estimativas para AIC (144,88) na L1. Para a L2, o modelo de McNally apresentou maior estimativa de AIC (134,55).

Os modelos de Brody, Von Bertalanffy, Richards, Compartmental e McNally superestimaram o parâmetro “a” na L1. Com exceção do modelo de Richards, os demais modelos que superestimaram o parâmetro “a” na L1, também superestimaram o parâmetro “a” na L2. Von Bertalanffy adaptado e Richards não convergiram na L2. Os modelos Logístico I, Logístico II e Compartmental modificado melhor estimaram os parâmetros “a” e “x” nas linhagens (Tabela 1 e 2).

Tabela 1- Estimativas dos parâmetros das curvas ajustadas dos modelos não lineares estudados, utilizados para ajustar a taxa de postura semanal para linhagem L1 de codornas de postura

Modelo	â	b	c	d	x	AIC	MSE	MER
Brody	1,0238	1,5629	0,5905	-	0,0069	142,99	0,0624	0,0000
Von Bertalanffy	1,0018	1,0563	0,8311	-	0,0059	143,12	0,0627	0,0004
Von Bertalanffy A	0,6975	1,6062	0,2804	1,5565	0,0096	144,88	0,0622	0,0011
Richards	1,0929	1,3145	0,2804	0,4424	0,0096	144,88	0,0622	0,0000
Logístico I	0,9786	16,4582	1,3994	-	0,0049	143,37	0,0632	0,0011
Logístico II	0,9787	-	2,8005	-1,3992	0,0049	143,37	0,0632	0,0011
Compartmental modificado	0,9786	-	1,3993	2,0015	0,0049	143,37	0,0632	0,0011
Compartmental	1,0238	0,5906	-	0,7561	0,0069	142,99	0,0624	0,0000
Wood	0,4046	0,5536	0,0412	-	-	142,70	0,0660	0,0018
McNally	1,7766	2,0694	-0,1181	-2,0704	-	143,43	0,0633	0,0015

â: valor assintótico que ajusta a produção de ovos no pico de postura; b: valor associado à curvatura entre início e pico de produção; c: não possui interpretação biológica; d: idade à maturidade sexual para os modelos Richards Compartmental e Compartmental modificado; x: valor associado à curvatura após pico de produção. AIC: critério de Akaike; MSE: quadrado médio do erro; MER: erro do modelo.

Tabela 2- Estimativas dos parâmetros das curvas ajustadas dos modelos não lineares estudados, utilizados para ajustar a taxa de postura semanal para linhagem L2 de codornas de postura

Modelo	â	b	c	d	x	AIC	MSE	MER
Brody	1,0270	1,4800	0,5757	-	0,0067	134,10	0,0567	0,0057
Von Bertalanffy	1,0065	0,9320	0,7879	-	0,0058	134,25	0,0570	0,0061
Logístico I	0,9843	11,9133	1,2733	-	0,0049	134,53	0,0575	0,0067
Logístico II	0,9843	-	2,4776	-1,2733	0,0049	134,53	0,0575	0,0067
Compartmental modificado	0,9843	-	1,2732	1,9457	0,0049	134,53	0,0575	0,0067
Compartmental	1,0270	0,5757	-	0,6810	0,0067	134,10	0,0567	0,0057
Wood	0,4143	0,5404	0,0402	-	-	133,50	0,0594	0,0072
McNally	1,3564	1,7424	-0,0869	-1,6478	-	134,55	0,0576	0,0070

â: valor assintótico que ajusta a produção de ovos no pico de postura; b: valor associado à curvatura entre o início e o pico de produção; c não possui interpretação biológica; d: idade à maturidade sexual para os modelos Compartmental e Compartmental modificado; x: valor associado à curvatura após pico de produção. AIC: critério de de Akaike; MSE: quadrado médio do erro; MER: erro do modelo.

Os modelos de Richards, Compartmental e Compartmental modificado possuem interpretação biológica para o parâmetro “d” que representou a idade a maturidade sexual. Para a L1 (Tabela 1) os modelos de Richards e compartmental e, para L2 (Tabela 2) o modelo compartmental estimaram que a idade a maturidade sexual ocorreu na 5ª semana de idade das aves. O modelo Compartmental modificado estimou que a idade a maturidade sexual ocorreu na segunda semana de idade das aves.

A análise gráfica dos valores observados e preditos indicaram que os modelos de Wood e McNally não ajustaram adequadamente a curva de produção de ovos nas linhagens (Figuras 3 e 5). Para os demais modelos a análise gráfica possibilitou ajuste das curvas aos dados de produção de ovos (Figuras 2 e 4). A interpretação biológica dos parâmetros, análise gráfica e critérios de qualidade dos ajustes indicaram que os modelos Logístico I e II e Compartmental modificado foram os mais adequados para ajustar curvas de produção de ovos nestas linhagens de codornas de postura.

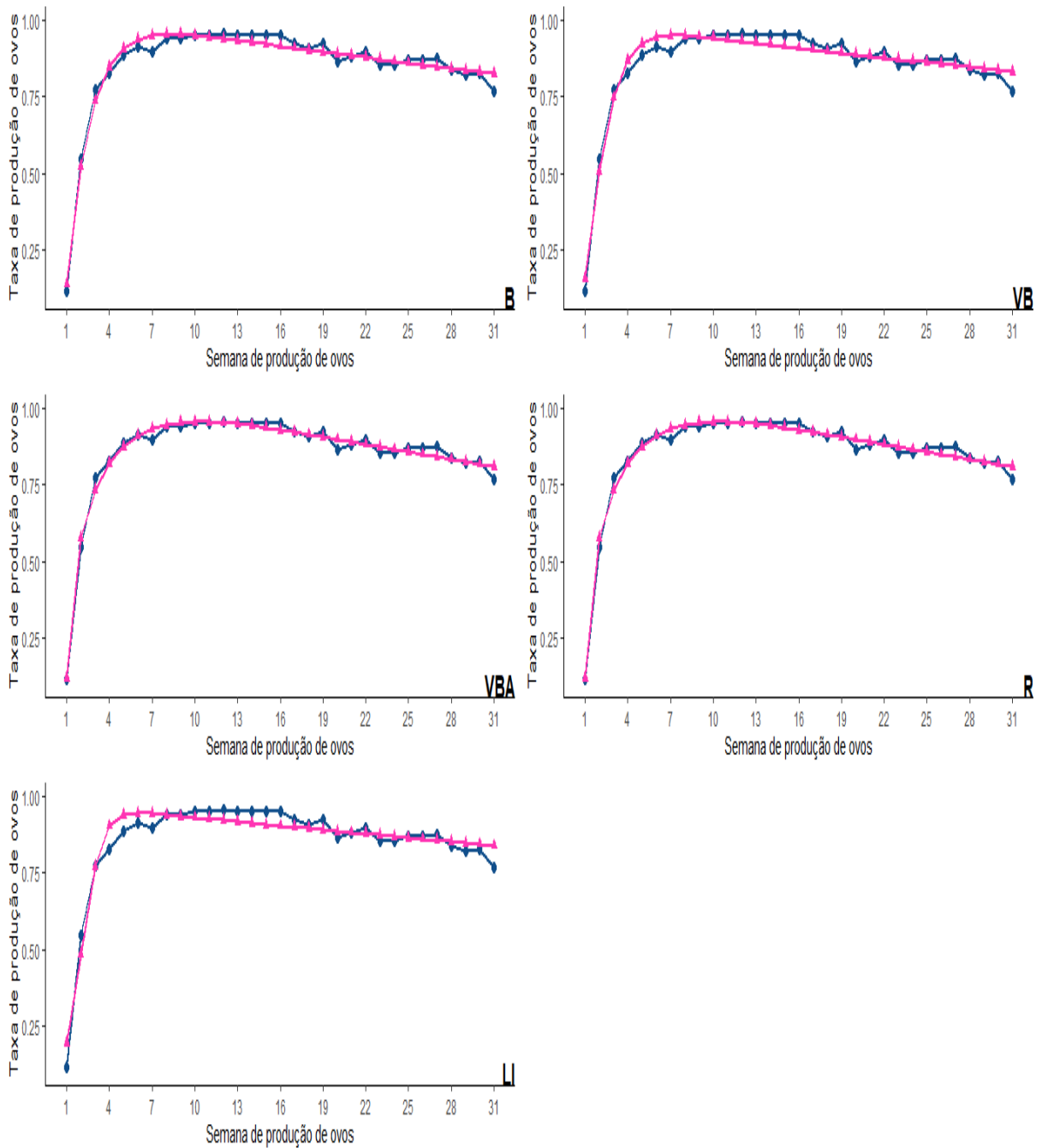


Figura 2: Curva de produção de ovos semanal para L1 utilizando modelos Brody (B), Von Bertalanffy (VB), Von Bertalanffy adaptado (VBA), Richards (R) e Logístico I (LI). ▲ produção de ovos predita. ● produção de ovos observada

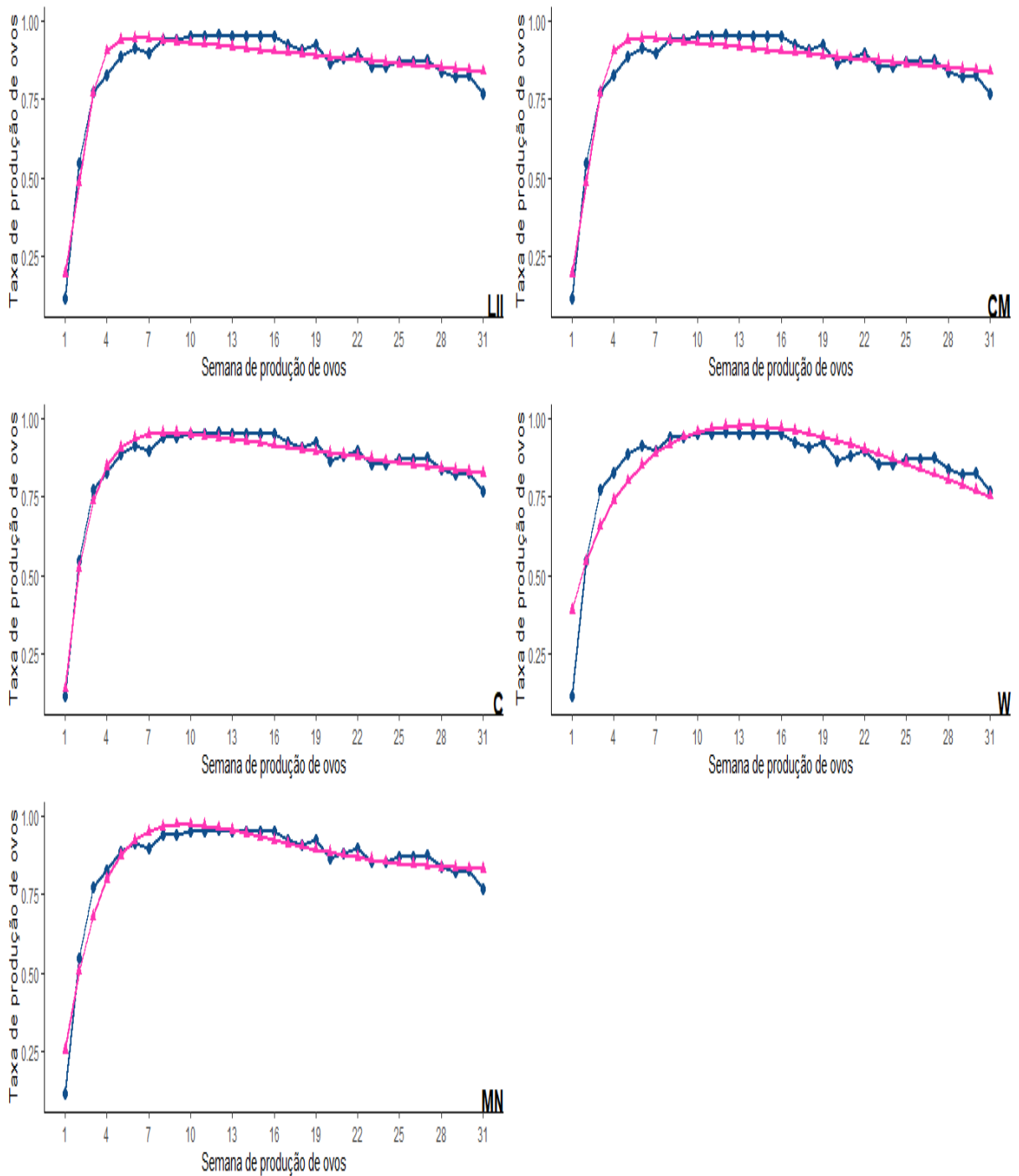


Figura 3: Curva de produção de ovos semanal para L1 utilizando modelos Logístico II (LII), Compartmental modificado (CM), Compartmental (C), Wood (W) e McNally (MN). ▲ produção de ovos predita. ● produção de ovos observada.

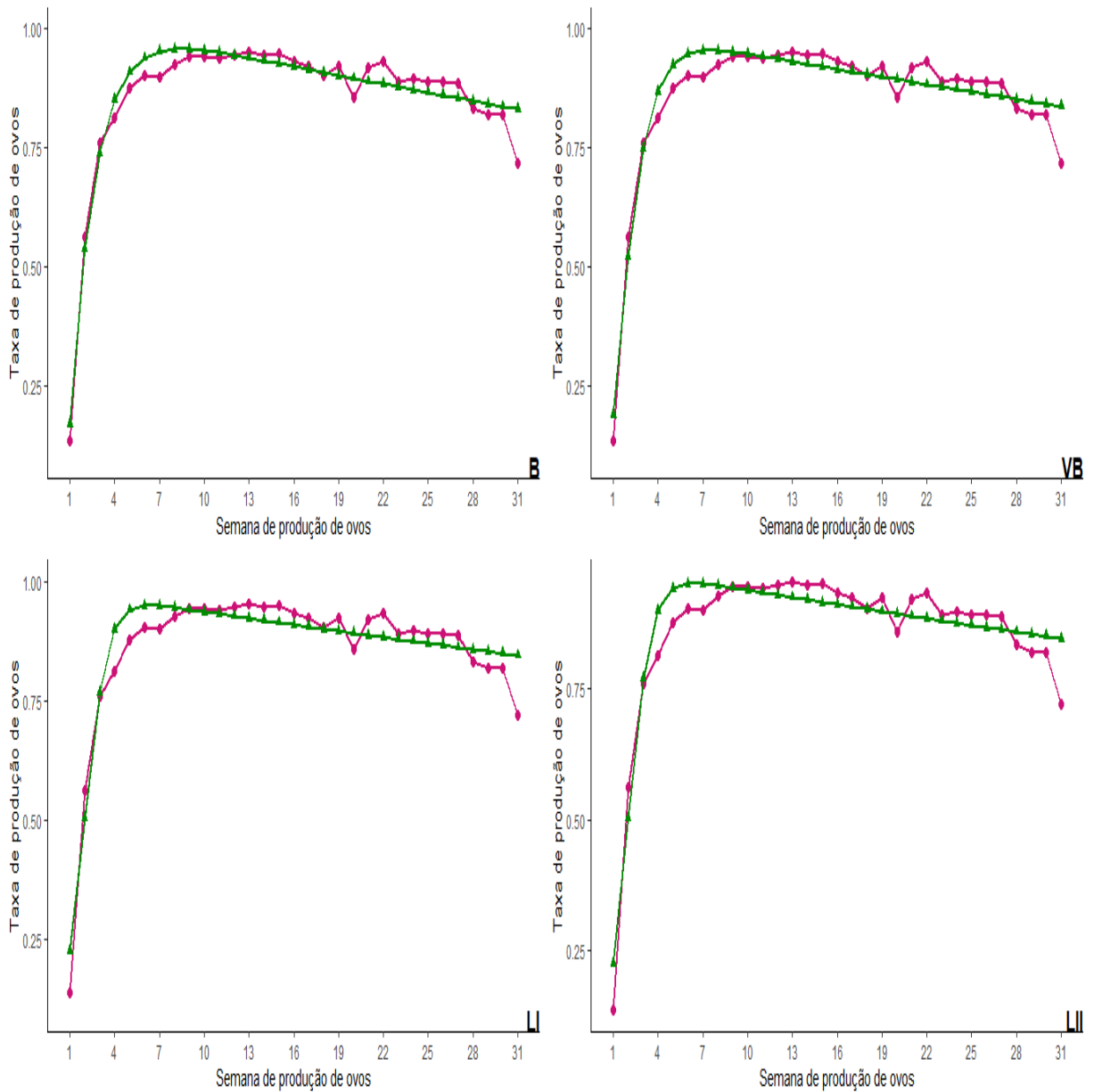


Figura 4: Curva de produção de ovos semanal para L2 utilizando modelos Brody (B), Von Bertalanffy (VB), Logístico I (LII), Logístico (LII). ▲ produção de ovos predita. ● produção de ovos observada

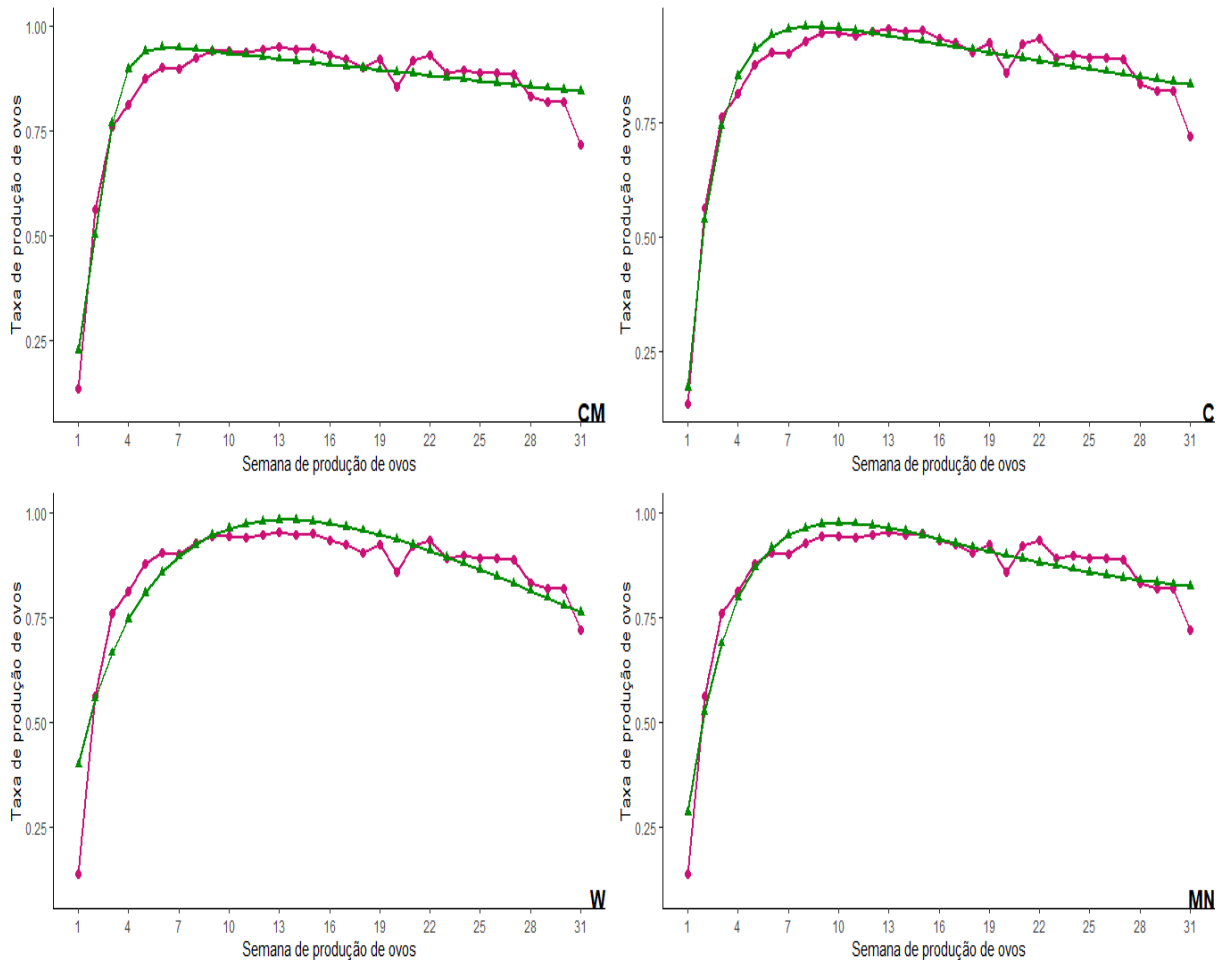


Figura 5: Curva de produção de ovos semanal para L2 utilizando modelos Compartmental modificado (CM), Compartmental (C) Wood (W) e McNally (MN). ▲ produção de ovos predita. ● produção de ovos observada

4. DISCUSSÃO

A taxa de produção de ovos é importante em aves de postura pois indica o número de ovos produzidos durante determinado período de produção (Faraji-Arough *et al.* 2023). A variação na produção de ovos pode ser afetada pela idade da ave, diferenças genéticas e ambientais e nutrição (Tumová *et al.* 2017; Shibak *et al.* 2023; Ariza *et al.* 2021).

A taxa média de produção de ovos observada nas linhagens foi de 86% em 31 semanas de produção de ovos, que correspondeu a 35 semanas de idade. A postura

iniciou na quinta semana de idade e na sexta semana a taxa de produção de ovos foi de 55% na L1 e 56 % na L2. Estes resultados estão de acordo com Cheng *et al.* (2010), que observaram que codornas criadas em condições adequadas de manejo iniciam a produção de ovo entre a quarta e quinta semana de idade atingindo a produção regular a partir da sexta semana de idade.

O pico de postura é um dos períodos mais importantes na curva de produção de ovos em aves. O pico observado de produção de ovos foi de 95% e ocorreu entre a 10^a a 16^a semanas de postura, que correspondem da 14^a a 20^a semana de idade das aves na L1. Para L2, o pico observado de produção ocorreu entre a 12^a a 15^a semana de postura, que correspondem a 16^a a 19^a semana de idade. Neste estudo, as linhagens foram mantidas nas mesmas condições de manejo e nutrição, assim a variação observada na semana em que o pico de produção ocorreu pode ser devido a diferenças no potencial genético das linhagens. Minvielle *et al.* (2000) relataram que o pico de produção de ovos ocorreu em 13,03 semanas de idade e variou de 88% a 98% em de codornas de postura. Narinc *et al.* (2013) estudaram codornas de postura em 52 semanas de produção e estimaram que o pico foi de 94% e ocorreu na 9^a semana de produção de ovos, que correspondeu a 15^a semana de idade das aves. A taxa de postura no pico de produção deste trabalho foi semelhante ao relato dos autores citados. No entanto, a semana em que o pico ocorreu foi diferente, isto pode ocorrer devido as diferenças de manejo e diferenças genéticas das linhagens.

A curva de produção de ovos é uma ferramenta valiosa para avaliar as mudanças que ocorrem na produção de ovos durante o ciclo produtivo, que é importante em termos de criação e decisões que podem ser tomadas (Ahmadu *et al.* 2017). Em ambas as linhagens a produção de ovos iniciou na quinta semana de idade, aumentou até o pico e após o pico em torno da 17^a semana na L1 e na 16^a semana de produção na L2, a produção diminuiu gradualmente até a 35 semana de idade das aves (Figura 1). Nestas linhagens, a curva de produção de ovos apresentou o padrão observado em outras espécies de aves como galinhas (Grossman *et al.* 2000; Savegnago *et al.* 2012).

Na 20^a semana de postura ocorreu queda na produção de ovos causada por alterações na ração fornecida às aves, que influenciou o consumo e refletiu em menor produção de ovos. No entanto, com o ajuste dos níveis nutricionais e ingredientes da

ração, foi observado que as linhagens apresentaram capacidade de retorno a produção de ovos na semana seguinte. As linhagens mantiveram a persistência de postura após o pico e por volta da 31ª semana de produção (35 semana de idade das aves) foi observada a maior queda na produção que ocorreu pelo aumento da idade das aves e encerramento do ciclo de produção de ovos (Figura 1).

Os critérios de qualidade de ajuste foram utilizados para avaliar o desempenho dos modelos e indicar o modelo que melhor ajusta aos dados (Pham 2019). As estimativas de AIC, MSE e MER foram similares neste trabalho e indicaram que todos os modelos ajustaram as curvas de produção de ovos nas linhagens (Tabela 1 e 2). Os resultados deste trabalho estão de acordo com Savegnago *et al.* (2012) e Faraji-Arough *et al.* (2023) que encontraram pequenas diferenças nos valores dos critérios de qualidade do ajuste para curvas de produção de ovos em galinhas White Leghorn e galinhas indígenas Khazak, indicando que todos os modelos foram capazes de ajustar os dados. Os critérios de qualidade do ajuste foram semelhantes nas linhagens e, para os modelos utilizados neste estudo, isto pode ter ocorrido devido a estrutura do banco de dados que é formado por grande número de registros e igualmente distribuídos em todas as semanas de produção. Além disso, a maioria dos modelos possui o mesmo número de parâmetros.

O modelo de Wood apresentou o menor valor para AIC, indicando que este modelo melhor ajustou as curvas de produção de ovos nas linhagens (Tabelas 1 e 2). De acordo com Akaike (1974) e Narinc *et al.* (2013), o AIC é usado para corrigir o erro dos modelos ajustados às curvas levando em consideração a simplicidade e o número de parâmetros do modelo. Assim, o menor valor de AIC para este modelo pode ser devido ao menor número de parâmetros que o mesmo apresenta em comparação aos demais modelos que foram utilizados para ajustar as curvas de produção de ovos nestas linhagens.

Em ambas as linhagens, o modelo de Wood não foi flexível para ajustar a taxa de produção de ovos no pico de postura e o valor estimado pelo modelo foi de 40% na L1 e de 41 % na L2 ficando abaixo da produção observada, que foi de 95% em ambas as linhagens. A partir da análise gráfica, observou-se que o modelo não apresentou flexibilidade para ajustar o início da produção de ovos e o pico de postura (Figuras 3 e 5). De acordo com a interpretação biológica dos parâmetros, o modelo

de Wood não foi adequado para ajustar curvas de produção de ovos nestas linhagens de codornas de postura. Conforme Congleton *et al.* (1981) e Yang *et al.* (1989) o modelo de Wood não é capaz de ajustar o período inicial de produção de ovos e não identifica mudanças abruptas de inclinação da curva de produção de ovos levando a erros no ajuste do modelo. Este resultado também foi observado nas linhagens deste estudo.

O modelo McNally não apresentou flexibilidade para ajustar a taxa de produção de ovos no pico, superestimando o pico de produção (Figura 3 e 5). Isso ocorreu devido ao fato do modelo de McNally ser uma modificação do modelo de Wood com a mesma interpretação para os parâmetros do modelo (Savegnago *et al.* 2012; Narinc *et al.* 2013). Os resultados deste trabalho estão de acordo com Mahmoud *et al.* (2021), que avaliaram curvas de produção de ovos em poedeiras Fayoumi em 52 semanas de produção e encontraram valores baixos (0,001) para a produção de ovos, enquanto a taxa crescente de produção de ovos para o pico de postura foi superestimada nos modelos de Wood e McNally.

A produção de ovos muda durante o ciclo produtivo e a curva de produção pode ser descrita em etapas. O primeiro estágio inicia com postura do primeiro ovo aumentando até o pico de produção, o segundo estágio é o pico de produção e o terceiro é a persistência e o decréscimo da postura após o pico até o final do ciclo de produção (Fialho e Ledur, 1997; Grossman *et al.* 2000). Na L1 os modelos Brody, Von Bertalanffy original, Richards, Compartmental e McNally superestimaram o valor assintótico que ajusta a produção de ovos no pico de postura, ou seja, o parâmetro “a” (Tabela 1). O mesmo foi observado para a L2, com exceção do modelo de Richards (Tabela 2). Esses modelos superaram a capacidade máxima de produção de ovos no pico de postura, que é de 100%. Isto pode ocorrer quando os modelos não apresentam flexibilidade suficiente no ponto de inflexão para ajustar a produção de ovos no pico, assim a estimativa do parâmetro é superestimada (Mahmoud *et al.* 2021).

Os modelos Logístico I, Logístico II e Compartmental modificado apresentaram valores do parâmetro “a” ou seja, a produção de ovos no pico de postura de 0,97% para L1 e de 0,98% para L2. Estas estimativas foram próximas aos valores encontrados para os dados observados, que foi de 95% em ambas as linhagens. Em

linhagens de galinhas White Leghorn selecionada e não selecionada, os modelos Logístico I e Compartmental modificado apresentaram os melhores ajustes para as curvas de produção de ovos segundo os critérios de qualidade de ajuste e a interpretação biológica dos parâmetros (Savegnago *et al.* 2012). Bô *et al.* (2022) estudaram modelos não lineares para descrever a taxa de produção de ovos de frangos da raça D310 e o modelo Logístico I apresentou melhor ajuste para descrever a produção de ovos com os menores valores de AIC e BIC. Para as linhagens deste estudo os modelos foram adequados considerando os critérios de qualidade de ajustes e interpretação biológica dos parâmetros, sendo que as estimativas dos parâmetros apresentaram valores semelhantes (Tabela 1 e 2).

Os modelos de Richards e Compartmental na L1 e o modelo Compartmental na L2 ajustaram adequadamente a idade a maturidade sexual, estimando que a mesma ocorreu na quinta semana de idade das aves, o que está de acordo com a idade à maturidade sexual observada nas linhagens. O modelo Compartmental modificado superestimou a idade à maturidade sexual, pois estimou que as linhagens iniciaram a produção de ovos na sexta semana de idade ou seja, na segunda semana de produção (Tabela 1 e 2). Sharifi *et al.* (2022) avaliaram modelos matemáticos para estimar a curva de produção de ovos em galinhas White leghorn e o modelo Compartmental modificado foi um dos modelos que melhor ajustou a produção semanal de ovos.

A persistência de postura é um parâmetro importante para definir a produção total de ovos (Alshaheen 2017). O parâmetro “x” representa o decréscimo da produção de ovos após o pico de postura. Quanto menor a estimativa do parâmetro maior a persistência de postura das aves. Os modelos Logístico I, Logístico II e Compartmental modificado melhor ajustaram a produção de ovos e estimaram maior persistência de postura em ambas as linhagens (Tabela 1 e 2). De acordo com Grossman *et al.* (2000), galinhas com maior persistência de postura são desejáveis pois podem permanecer maior tempo em produção, assim será desejável se a seleção para produção de ovos favorecer a persistência de postura.

Ao considerar que o modelo de Wood não identificou corretamente os parâmetros do modelo e considerando a similaridade nos valores dos critérios de ajustes, os modelos Logístico I, Logístico II e Compartmental modificado foram

adequados para ajustar curvas de produção de ovos em ambas as linhagens. Esses modelos melhor estimaram parâmetros com interpretação biológica importantes para o programa de melhoramento genético, como a taxa de produção de ovos, o pico de produção, a persistência da postura após o pico, a taxa de decréscimo da produção de ovos após o pico e a semana em que a produção de ovos atingiu o pico.

5. CONCLUSÃO

A utilização de modelos não lineares para ajustar curvas de produção de ovos permitiu conhecer as alterações que ocorrem no ciclo produtivo das linhagens e gerar informações importantes para o programa de melhoramento genético. Os modelos Logístico I, Logístico II e Compartmental modificado podem ser utilizados para prever a curva de produção de ovos para estas linhagens de codornas de postura, considerando a interpretação biológica dos seus parâmetros e os critérios de qualidade de ajustes.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ahmadu A, Kabir M, Iyiola-Tunji AO, 1Akinsola OM, Igbadun H (2017) Mathematical Modelling of Egg Production Curves of Shikabrown Parents. **Nigerian Journal of Animal Production** 44: 61 - 75.

Adams CJ, Bell DD (1980) Predicting Poultry Egg Production. **Poultry Science** 59:937-938.

Akaik H (1974) A new look at the statistical model identification. *IEEE Trans. Automat. Contr.* 19:716-723.

Alshaheen SA (2017) Analysis Egg Production and Egg Weight Curves by Two Mathematical Models in Japanese Quail (*Coturnix.C. Japonica*). **Iraqi Journal Poultry Science** 11:1: 58-68.

Bindya LA, Murthy HNN, Jayashankar MR, Govindaiah MG (2010) Mathematical Models for Egg Production in an Indian Colored Broiler Dam Line. **International Journal of Poultry Science** 9:9: 916-919.

Bộ HX, Phương LV, Luc DD (2022) Application of Different Nonlinear Functions to Describe the Egg Production Rate of D310 Chicken. **Vietnam Journal of Agricultural Science** 20, 5: 596-602. <http://tapchi.vnua.edu.vn/wp-content/uploads/2022/05/tapchi-so-5.4.pdf>.

Brody, S (1945) **Bioenergetics and growth**. New York: Reinhold Publishing Corporation, 1023.

Brody S, Ragsdale AC, Turner CW (1923) The rate of growth of the dairy cow: growth and senescence as measured by the rise and fall of milk secretion with age. **Journal of General Physiology** 5: 441-444.

Cason JA, Britton WM (1988) Comparison of Compartmental and Adams-Bell models of poultry egg production. **Poultry Science** 67:213-218.

Cason JA, Ware GO (1990) Analysis of flock egg production curves using generalized growth functions. **Poultry Science** 69: 1054-1069.

Congleton WR, Chamberlain JT, Muir FV, Hawes RO (1981) Limitations of using the incomplete gamma function to generate egg production curves. **Poultry Science** 60: 3: 689-691.

Cheng KM, Bennett DC, Mills AD (2010) The Japanese quail The Ufaw Handbook on The Care and Management of Laboratory and Other Animals, Eighth Edition, pp. 655-673. <https://doi.org/10.1002/9781444318777.ch42>.

Cruz VAR, Pires AV, Filho RAT, Pereira IG, Araujo CV, Camila Tangari Meira (2013) Parâmetros genéticos da curva de produção de ovos de uma linha fêmea de frango de corte. **Ciência Rural** 43:3 520-523.

Faraji-Arough H, Ghazaghi M, Rokouei M (2023) Mathematical Modeling of Egg Production Curve in Khazak Indigenous Hens. **Poultry Science Journal** 11:1: 73-81. 2345-6604. DOI:10.22069/psj.2022.20251.1820.

Falconer DS, Mackay TFC (1996) **Introduction to quantitative genetics**. 4^a edition. Edinburgh, Longman Group Limited. 464.

Fialho FB, Ledur MC (1997) Segmented polynomial model for estimation of egg production curves in laying hens. **British Poultry Science** 38:66-73.

Gavora JS, Liljedahl LE, Mcmillan I, Ahlen K (1982) Comparison of three mathematical models of egg production. **British Poultry Science** 23: 339-348.

Ariza AG, Arbulu AA, Jurado JML, González FJN, Baena SN, Vallejo MEC (2021) Mathematical modeling of egg production curve in a multivariety endangered hen breed. **Research in Veterinary Science** 144: 196-203. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2021.11.001>

Grossman M, Grossman TN, Koops WJ (2000) A model for persistency of egg production. **Poultry Science** 79:1715-1724.

Grossman M, Koops WJ (2001) A model for individual egg production in chickens. **Poultry Science** 80: 859-867.

Hartley HO (1961) The modified Gauss-Newton method for the fitting of nonlinear regression functions by least squares. **Technometrics**, Washington 3: 269-280.

Júnior RNCC, de Araújo CV, de Menezes FL, de Araújo SI, Pavan NL, Rocha-Silva M, et al. (2023) Growth curve mixed nonlinear models in quails. **PLoS ONE** 18:6: e0287056. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0287056>

Kaplan S, Gürcan EK (2018) Comparison of growth curves using non-linear regression function in Japanese quail. **Journal of Applied Animal Research** 46:1, 112-117, DOI: 10.1080/09712119.2016.1268965

Kuhi HD, France J (2019) Modelling cumulative egg production in laying hens and parent stocks of broiler chickens using classical growth functions. **British Poultry Science** 60: 5: 564–569. DOI: 10.1080/00071668.2019.1622080.

Mahmoud BYF, Emam AM, El-Full EA (2021) Evaluation of four nonlinear models describing egg production curve of fayoumi layers. **Egyptian Poultry Science Journal** 41: 147-159.

McMillan I, Fitz-Earle M, Butler L, Robson DS (1970) Quantitative genetics of fertility I and II. **Genetics** 65: 349-369.

McNally DH (1971) Mathematical model for poultry egg production. **Biometrics** 27: 735-738.

Minvielle F, Monvoisin JI, Costa J, Maeda Y (2000) Long term egg production and heterosis in quail lines after within line or reciprocal recurrent selection for high early egg production. **British Poultry Science** 41:150-157.

Narinc D, Aksoy T, Karaman E (2010). Genetic parameters of growth curve parameters and weekly body weights in Japanese quail (*Coturnix japonica*). **Journal of Animal and Veterinary Advances** 9:501-507.

Narinc D, Karaman E, Aksoy T, Firat MZ (2013) Investigation of nonlinear models to describe long-term egg production in Japanese quail. **Poultry Science** 92: 6, 1676-1682. <https://doi.org/10.3382/ps.2012-02511>

Narinc D, Uckardes F, Aslan E (2014) Egg production curve analyses in poultry Science. **World's Poultry Science Journal** 70. doi:10.1017/S0043933914000877.

Nelder JA (1986) The fitting of a generalization of the logistic curve. **Biometrics** 17: 89-110.

Otwinowska-Mindur A, Gumułka M, Kania-Gierdziewicz J (2016) Mathematical models for egg production in broiler breeder hens. **Ann. Animal Science** 16: 4: 1185-1198 DOI: 10.1515/aoas-2016-0037.

Pham H (2019) A New Criterion for Model Selection. **Mathematics** 7, 12: 1215. <https://doi.org/10.3390/math7121215>.

Richards FJ (1959) A flexible growth function for empirical use. **Journal of Experimental Botany** 10: 290-300.

Savegnago RP, Cruz VAR, Ramos SB, Caetano SL, Schmidt DS, Ledur MC, El Faro L, Munari DP (2012) Egg production curve fitting using nonlinear models for selected and nonselected lines of White Leghorn hens. **Poultry Science** 91:11: 2977-2987. <https://doi.org/10.3382/ps.2012-02277>.

Safari-Aliqiarloo A, Zare M, Faghih-Mohammadi F, Seidavi A, Laudadio V, Selvaggi M, Tufarelli, V (2018) Phenotypic study of egg production curve in commercial broiler breeders using Compartmental function. **Brazilian Journal of Animal Science** 47:e20170225. <https://doi.org/10.1590/rbz4720170225>.

Sharifi MA, Patil SC, Yadav SA, Bangar YC (2022) Mathematical modeling for egg production and egg weight curves in a synthetic white leghorn. **Poultry Science** 101:4 101766. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.101766>.

SAS Institute Inc. 2008. SAS/STAT 9.2 User's Guide. SAS Institute Inc., Cary, NC.

Shibak A, Maghsoudi A, Rokouei M, Farhangfar H, Faraji-Arough H (2023) Investigation of egg production curve in ostrich using nonlinear functions. **Poultry Science** 102: 2. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.102333>

Tůmová E, Uhlířová L, Tůma R, Chodová D, Máchal L (2017) Age related changes in laying pattern and egg weight of different laying hen genotypes. **Animal Reproduction Science**. 183:21-26. doi:10.1016/j.anireprosci.2017.06.006.

Von Bertalanffy LV (1957) Quantitative laws in metabolism and growth. **The Quarterly Review of Biology** 32: 217-230.

Wood PDP (1967) Algebraic model of the lactation curve in cattle. **Nature** 216:164-165.

Wolc A, Arango J, Ian Rubinoff I, Dekkers JCM (2020) A biphasic curve for modeling, classifying, and predicting egg production in single cycle and molted flocks. **Poultry Science** 99: 4:2007-2010. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2019.11.037>.

Yang N, Wu C, McMillan I (1989) New mathematical model of poultry egg production. **Poultry Science** 68:476-481