Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"

Parâmetros genéticos de características de produção e qualidade de ovos em linhagens nacionais de galinhas caipiras

Fátima Auler Bogdanski

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestra em Ciências. Área de concentração: Ciência Animal e Pastagens

Piracicaba
2019

Fátima Auler Bogdanski
Médica Veterinária

Parâmetros genéticos de características de produção e qualidade de ovos em linhagens nacionais de galinhas caipiras

Orientador:
Prof. Dr. **GERSON BARRETO MOURÃO**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Ciências. Área de concentração: Ciência Animal e Pastagens

Piracicaba
2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Bogdanski, Fátima Auler

Parâmetros genéticos de características de produção e qualidade de ovos em linhagens nacionais de galinhas caipiras / Fátima Auler Bogdanski. - - Piracicaba, 2019.

73 p.

Dissertação (Mestrado) - -USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"

1. Parâmetros genéticos 2. Componentes de variância 3. Qualidade de ovos 4. Galinhas caipiras I. Título

DEDICATÓRIA:

Dedico

À minha família, meu marido Joel e meus filhos Rebeca, David e Daniel, pelo imenso apoio nessa nova jornada, e principalmente por todo o amor, carinho, amizade, respeito e companheirismo.

Aos meus pais, Honorio e Arlette (in memoriam), pela dedicação, ensinamentos, amor, carinho e principalmente pelo exemplo de vida.

AGRADECIMENTOS:

À Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" e ao Programa de Pós-Graduação em "Ciência Animal e Pastagens" pela oportunidade de realização do mestrado.

Ao Prof. Dr. Gerson Barreto Mourão, pelos ensinamentos e conselhos, e principalmente pela oportunidade de ser sua orientada e pela confiança em mim depositada.

Ao Instituto de Zootecnia (IZ/SP), especialmente à Dra. Carla Cachoni Pizzolante, ao Dr. José Evandro de Moraes, ao Dr. Weber Vilas Bôas Soares e Tatiane Lagassi, pela parceria na análise dos ovos, fundamental para a realização desse trabalho, bem como pela amizade, disponibilidade, ensinamentos, conselhos, críticas e sugestões.

Ao Comitê de Orientação, formado pelo Prof. Dr. Luiz Lehmann Coutinho e pela Profa. Dra. Carla Cachoni Pizzolante, pelos conselhos, apoio, sugestões e críticas ao projeto.

Aos colegas do curso de pós-graduação, especialmente aos amigos do Grupo de Estudos em Estatística e Melhoramento Animal (GE^{2}MA), Amanda Botelho Alvarenga, Ariana Nascimento Meira, Brayan Dias Dauria, Daysi Ylder Orzuza Escobar, Eula Regina Carrara, Fabrício Pilonetto, Giovanni Coelho Ladeira, Gregori Alberto Rovadoscki, Izally Carvalho Gervásio, Juliana Petrini, Mayara Salvian, Paola Perez Boscollo, Sofia Andrade e Silva e Vamilton Franzo, pela amizade, companheirismo, ajuda e apoio nos estudos, troca de experiências e conhecimentos, cooperação nos trabalhos no aviário, e principalmente por compartilhar momentos de diversão e descontração, fundamentais para ajudar a manter a sanidade mental durante o mestrado.

Aos amigos mais experientes do GE^{2}MA, Gregori Alberto Rovadoscki e Juliana Petrini, pela enorme ajuda nos momentos de desespero.

Aos colegas do grupo de Biotecnologia, Bruna Petry, Gabriel Costa Monteiro Moreira e Shilton Reino, pela amizade, pelos momentos de descontração e pela troca de experiências e conhecimentos.

Aos estagiários do Grupo de Estudos em Estatística e Melhoramento Animal (GE^{2}MA), Adhonis Emanuel Braga Lima, Felipe Eduardo Braguim Silva, Mariana Pedroso de Moraes Zuccaratto e Marina Miquilini, pela amizade e também pelo apoio e cooperação nos trabalhos no aviário.

Aos docentes dos Departamentos de Zootecnia (ESALQ/USP e FZEA/USP) e Ciências Exatas (ESALQ/USP), pela atenção, ensinamentos, carinho e pela preocupação com a formação acadêmica e científica de seus alunos.

Aos funcionários do Departamento de Zootecnia pelo suporte e também pela atenção e carinho.

Aos professores de Genética e Melhoramento Animal da Faculdade de Medicina Veterinária da Universidade Federal Fluminense (UFF), Irineu Machado Benevides Filho e Luiz Cesar Zamborlini, pelos ensinamentos básicos dessa área pela qual me apaixonei.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), ao Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento (CNPq) e à Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP).

À minha família, ao meu marido Joel Bogdanski e aos meus filhos Rebeca Bogdanski, David Bogdanski e Daniel Bogdanski, por todo o apoio e compreensão neste período de dedicação ao mestrado, pela ajuda nas revisões e traduções, e principalmente por fazerem parte da minha vida.

A todos que não foram citados, mas que contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização deste trabalho.

“The time for action is now. It’s never too late to do something.”

Antoine de Saint-Exupery

SUMÁRIO

RESUMO **8**

ABSTRACT: **9**

1. INTRODUÇÃO **11**

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA **15**

2.1. ORIGEM DAS LINHAGENS DE GALINHAS POEDEIRAS 15
2.2. MELHORAMENTO GENÉTICO DE AVES NO BRASIL 19
2.3. GALINHAS E OVOS CAIPIRAS 19
2.4. ESTRUTURA E FORMAÇÃO DOS OVOS 21
2.5. CARACTERÍSTICAS DE QUALIDADE DOS OVOS 24
2.6. FATORES QUE AFETAM A QUALIDADE DOS OVOS 27
2.7. COR DA CASCA 29

3. PARÂMETROS GENÉTICOS DE CARACTERÍSTICAS DE PRODUÇÃO E QUALIDADE DOS OVOS **37**

RESUMO 37
ABSTRACT 37
3.1. INTRODUÇÃO 38
3.2. MATERIAL E MÉTODOS 39
3.2.1. Animais e dados *39*
3.2.2. Avaliação dos ovos *46*
3.2.3. Estimação dos componentes de variância *47*
3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO 49
3.4. CONCLUSÕES 55

REFERÊNCIAS **56**

4. PARÂMETROS GENÉTICOS PARA COR DA CASCA DO OVO E CORRELAÇÕES GENÉTICAS E FENOTÍPICAS ENTRE COR DA CASCA E CARACTERÍSTICAS DE PRODUÇÃO E QUALIDADE DOS OVOS **59**

RESUMO 59
ABSTRACT 59
4.1. INTRODUÇÃO 60
4.2. MATERIAL E MÉTODOS 61
4.2.1. Animais e dados *61*
4.2.2. Avaliação dos ovos *62*
4.2.3. Estimação dos componentes de variância *65*
4.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO 66
4.4. CONCLUSÕES 71

RESUMO

Parâmetros genéticos de características de produção e qualidade de ovos em linhagens nacionais de galinhas caipiras

A avicultura é uma das principais atividades agropecuárias no Brasil, no entanto apresenta grande dependência de material genético importado. Além disso, o crescente interesse por produtos avícolas oriundos de sistemas alternativos de criação, onde as aves são criadas fora das gaiolas, pode exigir animais mais adaptados a esse sistema de criação bem como ao clima tropical brasileiro. Desta forma, dois estudos foram desenvolvidos. No primeiro, o objetivo foi estimar os parâmetros genéticos para características de produção e qualidade dos ovos de oito linhagens de galinhas caipiras. Foram utilizadas as medidas de idade à primeira postura (IPP), produção total de ovos até a 45ª semana (PROD), peso do ovo (PO), altura do albúmen (AA), cor da gema (CG), unidades Haugh (HU), resistência da casca (RC), espessura da casca (EC), peso da gema (PG) e peso da casca (PC) de 2030 ovos, oriundos de 645 aves. Os componentes de variância foram obtidos por meio de um modelo misto animal, onde foram incluídos os efeitos fixos de grupo de contemporâneas, corredor da gaiola e linhagem da galinha e os efeitos genético aditivo, ambiente permanente e residual. As herdabilidades variaram de 0,03 a 0,33. As correlações genéticas entre PROD e as características de qualidade dos ovos foram negativas e variaram entre -0,42 e -0,05. Correlações genéticas altas e positivas, entre 0,36 e 0,69, foram estimadas entre as características de qualidade externa do ovo. No segundo estudo, o objetivo foi estimar os parâmetros genéticos para características de cor da casca do ovo, bem como as correlações genéticas e fenotípicas entre estas características e as características de produção e qualidade dos ovos avaliadas no primeiro estudo. Foram realizadas análises colorimétricas (coordenadas L*, a*, b*, do sistema de cor CIELab) de 1142 ovos oriundos de 597 aves. As herdabilidades estimadas para estas coordenadas variaram de 0,35 a 0,48 e as correlações genéticas entre elas foram altas. No geral, as correlações genéticas entre a cor da casca e as características de qualidade do ovo foram baixas, sugerindo que a cor da casca não influencia a qualidade interna e externa do ovo.

Palavras-chave: Componentes de variância; Linhagens de galinhas caipiras; Parâmetros genéticos; Produção de ovos; Qualidade dos ovos

ABSTRACT:

Genetic parameters of egg production and egg quality in national free-range chickens

Poultry farming is one of the main agricultural activities in Brazil, but it is highly dependent on imported genetic material. Moreover, the growing interest in poultry products from cage-free systems may require animals better adapted to free-range systems and tropical climate. Regarding this subject, two studies were developed. The aim of the first one was to estimate genetic parameters for egg production and egg quality traits in eight alternative poultry lines. The traits of interest were age at first egg (AFE), total egg production up to the 45th week (PROD), egg weight (EW), albumen height (AH), yolk color (YC), Haugh units (HU), eggshell strength (ESS), eggshell thickness (EST), yolk weight (YW) and eggshell weight (ESW). Phenotypic records of 645 laying hens and 2030 eggs were used. Variance components were estimated from a mixed animal model, which included the fixed effects of contemporary groups, cage location and hen line, and the additive genetic, permanent environmental and residual effects. Heritabilities ranged from 0.03 to 0.33. Genetic correlations between PROD and egg quality traits were negative and varied between -0.42 and -0.05. High and positive genetic correlations were estimated between eggshell quality traits. In the second study, the aim was to estimate genetic parameters for eggshell color and also genetic and phenotypic correlations between eggshell color and egg quality traits which were evaluated in the first study. Color coordinates from CIELab color space L* (brightness), a* (red/green scale) and b* (yellow/blue scale) of 1142 eggs were determined. The estimated heritabilities ranged from 0.35 to 0.48 and the genetic correlations between them were high. In general, the genetic correlations between eggshell color and egg quality traits were low, suggesting that the eggshell color does not influence internal and external egg quality.

Keywords: Egg quality; Free-range chickens; Genetic parameters; Laying hens; Variance components

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a preocupação com o bem-estar animal e com a qualidade dos produtos tem despertado o interesse dos consumidores por produtos de origem animal oriundos de sistemas de criação alternativos. Para estes consumidores, esta qualidade não é determinada somente pelos atributos físicos do produto final, mas também pelo bem-estar dos animais que produzem o alimento (Blokhuis et al., 2003). Como consequência, a produção de ovos em sistemas de criação alternativos, em que as aves são criadas em sistemas extensivos, com acesso a um piquete externo e sem a utilização de gaiolas, vem aumentando a cada ano.

No Brasil o sistema de criação com acesso a piquete utiliza aves de linhagens alternativas que são conhecidas por caipira (região Sudeste), colonial (região Sul) ou capoeira (região Nordeste) (Savino et al., 2007). São frangos de linhagens exclusivas para esse fim, criados em um sistema com acesso a áreas externas para pastejo, exercícios e manifestação de comportamentos inerentes à espécie, e alimentados com ração constituída por ingredientes preferencialmente de origem vegetal, sendo proibido o uso de melhoradores de desempenho (Coelho et al., 2008).

Os ovos de galinhas caipiras apresentam gema com coloração mais escura devido ao maior nível de ß–caroteno, e aumento nos níveis de alfa–tocoferol e polifenol (Anderson, 2011; Mugnai et al., 2009). Por ficarem mais tempo expostas à luz solar e sintetizarem mais vitamina D, além da maior ingestão de cálcio devido ao pastejo, os ovos dessas aves apresentam casca mais resistente (Kühn et al., 2014; Mugnai et al., 2009).

As aves criadas no sistema convencional em gaiolas apresentam maior produção de ovos, maior massa dos ovos, melhor conversão alimentar, menor mortalidade e apresentam também menor quantidade de ovos sujos, rachados ou quebrados (Golden et al., 2012; Mostert et al., 1995). As aves criadas no sistema alternativo têm desempenho inferior devido ao maior gasto de energia no pastejo e em outros comportamentos específicos associados ao ambiente sem confinamento (Golden et al., 2012; Hellmeister Filho et al., 2003).

Entretanto, nas últimas décadas têm surgido algumas legislações e recomendações visando o bem-estar animal. A Diretiva 1999/74/CE estabeleceu para os países membros da União Europeia novos padrões de alojamento para as galinhas poedeiras e proibiu a construção de novas gaiolas, banindo definitivamente o uso de gaiolas nos sistemas de criação europeus a partir de 1 de janeiro de 2012. No Brasil é permitida a criação de aves em gaiolas, conforme a Instrução Normativa nº 56/2007 (BRASIL, 2007), de 26/12/2007, que estabelece recomendações para criação de animais visando seu bem-estar.

No entanto, a alteração do sistema de alojamento de gaiolas convencionais para sistema extensivo exige investigação, especialmente com relação à capacidade das diferentes linhagens de frangos se adaptarem a esses sistemas alternativos (Singh et al., 2009). A avicultura comercial utiliza linhagens altamente produtivas e perfeitamente adaptadas para criação em gaiolas, mas necessitam de um ambiente mais controlado ao qual estão adaptadas (Boelling et al., 2003). O sistema alternativo de criação pode exigir um tipo diferente de animal, com um genótipo mais resistente e com maior capacidade de se adaptar às condições locais.

Desta forma, torna-se imprescindível a seleção dos melhores genótipos de galinhas caipiras, melhor adaptadas ao sistema de criação alternativo com acesso à piquete externo, para atender a este crescente mercado. Entretanto, para a identificação dos melhores genótipos e o desenvolvimento de programas de melhoramento genético, é necessário o conhecimento dos parâmetros genéticos associados às características de interesse em poedeiras. Assim, o objetivo deste estudo foi estimar os parâmetros genéticos e fenotípicos de características de produção e qualidade dos ovos em galinhas de oito linhagens experimentais da ESALQ/USP.

REFERÊNCIAS

Anderson KE (2011) Comparison of fatty acid, cholesterol, and vitamin A and E composition in eggs from hens housed in conventional cage and range production facilities. Poultry Science 90: 1600–1608.

Blokhuis HJ, Jones RB, Geers R, Miele M, Veissier I (2003) Measuring and monitoring animal welfare: transparency in the food product quality chain. Animal Welfare 12: 445-455.

Boelling D, Groen AF, Sørensen P, Madsen P, Jensen J (2003) Genetic improvement of livestock for organic farming systems. Livestock Production Science 80: 79–88.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 56, de 04 de dezembro de 2007. Estabelece os procedimentos para registro, fiscalização e controle de estabelecimentos avícolas de reprodução e comerciais. Diário Oficial da União, Brasília, 06/12/2007. s. 1, p. 11.

Coelho AAD, Savino VJM, Rosário MF (2008) **Frango feliz: caminhos para a avicultura alternativa**. Piracicaba: FEALQ 88 p.

Golden JB, Arbona DV, Anderson KE (2012) A comparative examination of rearing parameters and layer production performance for brown egg-type pullets grown for either free-range or cage production. Journal of Applied Poultry Research 21: 95-102.

Hellmeister Filho P, Menten JFM, Silva MAN, Coelho AAD, Savino VJM (2003) Efeito de genótipo e do sistema de criação sobre o desempenho de frangos tipo caipira. Revista Brasileira de Zootecnia 32 (6): 1883-1889.

Kühn J, Schutkowski A, Kluge H, Hirche F, Stangl GI (2014) Free-range farming: A natural alternative to produce vitamin D-enriched eggs. Nutrition 30: 481–484.

Mostert BE, Bowesand EH, van der Wal JC (1995) Influence of different housing systems on the performance of hens of four laying strains. South African Journal of Animal Science 25 (3): 80-86.

Mugnai C, Dal Bosco A, Castellini C (2009) Effect of rearing system and season on the performance and egg characteristics of Ancona laying hens. Italian Journal of Animal Science 8: 175-188.

Savino VJM, Coelho AAD, Rosário MF, Silva MAN (2007) Avaliação de materiais genéticos visando à produção de frango caipira em diferentes sistemas de alimentação. Revista Brasileira de Zootecnia 36 (3): 578-583.

Singh, R.; Cheng, K.M.; Silversides, F.G. 2009. Production performance and egg quality of four strains of laying hens kept in conventional cages and floor pens. Poultry Science 88: 256–264.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Origem das linhagens de galinhas poedeiras

A galinha foi inicialmente domesticada na Índia com a finalidade de participação em brigas de galo, sendo que as aves que não serviam para este fim eram abatidas para consumo. Os ovos não incubados eram também utilizados na alimentação humana (Coelho et al., 2008). Posteriormente as galinhas foram levadas aos outros continentes, incluindo a América do Sul.

As aves eram criadas com duplo propósito (produção de ovos e carne) até o final da década de 1920, quando foram iniciados os trabalhos de melhoramento genético visando a obtenção de aves com maior eficiência para produção de ovos ou para produção de carne. A partir da década de 1940 foram obtidas linhagens de poedeiras com alta produção de ovos e boa eficiência alimentar. Comparando com outras espécies de animais, os frangos podem alcançar uma taxa mais rápida de progresso genético devido ao menor intervalo entre gerações, grande número de progênies, utilização de inseminação artificial e material genético restrito. Entre as principais características selecionadas estão: quantidade de ovos produzidos, tamanho ou peso dos ovos, qualidade dos ovos, adaptabilidade, persistência da postura, eficiência alimentar e peso corporal (Van Eenennaam et al., 2014).

Algumas das principais raças puras utilizadas nos cruzamentos industriais para produção de linhagens de galinhas poedeiras, segundo Figueiredo et al. (2003), são:

- *Leghorn*: raça mediterrânea de crista serra ou crista rosa dobrada para a esquerda, apresentando plumagem branca, amarela, preta, prata, vermelha, preta com rabo vermelho, colúmbia, dourado, marrom claro e marrom escuro. Produz ovos com casca branca. Ainda que apenas a variedade de crista lisa seja utilizada comercialmente, existem muitas outras variedades, algumas das quais sexáveis pela pena, com um dia de idade. As aves são de tamanho pequeno (ao redor de 2,043 kg para as galinhas e 2,724 kg para os galos) e as galinhas produzem grande número de ovos por ciclo de postura (em média 200), com casca saudável e peso médio de 55 g (Figura 1).

Figura 1. Leghorn Branca. Fonte: Diane Jacky (2019)

- *New Hampshire*: raça americana de ovos de casca marrom que apresenta coloração vermelho claro e crista serra. Por muitos anos foi utilizada para a produção de frangos de corte e posteriormente passou a ser utilizada também em cruzamentos com outras raças de corte formando os atuais híbridos de corte, principalmente em função da habilidade de produção de grande quantidade de ovos com alta eclosão. A presença de uma mancha branca ou clara na asa dos pintos machos e sua correspondente ausência nas fêmeas favorece a identificação dos machos e das fêmeas com um dia de idade, conseguindo-se um índice de acerto de 80-90%. Quando adultos, os machos pesam em média 3,632 e as fêmeas 2,951 kg. As galinhas produzem em média 220 ovos no primeiro ciclo de postura, que pesam em média 55g (Figura 2).

Figura 2. New Hampshire. Fonte: Diane Jacky (2019)

- *Rhode Island Red*: raça americana que apresenta plumagem vermelho-escura e brilhante, com barbelas, brinco e crista avermelhados. Ave de porte médio, sendo excelente poedeira e produtora de carne. Nos últimos anos esta variedade tem sido intensamente utilizada para produção de híbridos sexáveis pela cor. A presença de uma mancha branca ou clara na asa dos pintos machos e sua correspondente ausência nas fêmeas, favorece a identificação do sexo dos pintos com um dia de idade, conseguindo-se um índice de acerto de 80- 90%. Por outro lado, nos cruzamentos, quando um galo desta raça (geneticamente "*gold*" ou não barrado) é acasalado com galinhas geneticamente "*silver*" ou barrada, é possível determinar o sexo do pinto por diferenças de coloração da penugem. Atualmente grande parte dos híbridos comerciais de postura resultam de cruzamentos específicos entre indivíduos *Rhode Island Red* e *Plymouth Rock Barrado* e produzem grande quantidade de ovos de casca marrom.

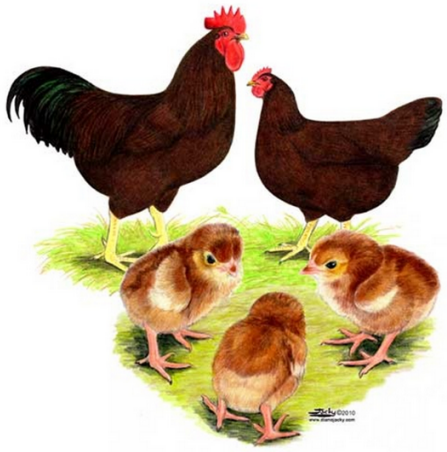

Figura 3. Rhode Island Red. Fonte: Diane Jacky (2019)

- *Plymouth Rock Barrada*: raça americana de porte médio com cristas, brincos e barbelas vermelho-brilhante. As aves desta variedade apresentam penas com barras brancas e pretas no sentido transversal, dando uma aparência cinzenta às aves. O gene barrado, ligado ao sexo, através de sua dosagem de melanina resulta em diferenças entre os sexos. As fêmeas apresentam manchas brancas menores e menos irregulares na cabeça e geralmente são mais escuras na penugem e na canela do que os machos. Além disso, a pigmentação preta nos dedos das fêmeas, ao contrário dos dedos dos machos, cessa abruptamente, deixando a porção distal de cada dedo amarela. Em contraste, os machos apresentam manchas brancas mais irregulares na cabeça e falta de contraste na abrupta mudança de coloração preta/não preta dos pés. Com o aumento da preferência por ovos de casca branca, esta raça diminuiu em popularidade. Atualmente vem sendo mais utilizada como linha fêmea nos cruzamentos

com galos *Rhode Island Red* para produzir pintos de postura autosexados, que quando adultos produzem ovos de casca marrom. Este tipo de cruzamento tem tornado a raça mais popular (Figura 4).

Figura 4. Plymouth Rock Barrada. Fonte: Diane Jacky (2019)

Os principais híbridos comerciais de postura são: *Hisex* (branca e marrom), *Lohmann* (branca e marrom), *Isa* (branca e marrom), *Hy-Line* (branca e marrom), *Shaver* (branca e marrom), *H&N Nick Chick* (branca e marrom), *Tetra* e *Harco*, além dos híbridos nacionais Embrapa 011 (branca) e Embrapa 031 (marrom) (Figueiredo et al., 2003).

Figura 5. EMBRAPA 011 EMBRAPA 031

2.2. Melhoramento genético de aves no Brasil

Os primeiros trabalhos de melhoramento genético de aves no Brasil foram iniciados na década de 1950. Em 1957, o Instituto de Pesquisa e Experimentação Agropecuária do Centro-Sul (atual Pesagro – Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado do Rio de Janeiro) iniciou um programa visando à obtenção de aves poedeiras comerciais (Euclides Filho, 1999; Silva, 2009). Neste mesmo período, a Granja Guanabara, que já desenvolvia projetos de melhoramento de aves poedeiras, iniciou um programa de melhoramento genético de aves para corte (Silva, 2009; Schmidt e Ávila, 1990). Também na década de 1950, a Estação Experimental de Pindamonhangaba – SP desenvolveu um programa de cruzamento de aves das raças *Cornish Branca*, *New Hampshire* e *Plymouth Rock Branca* (Silva, 2009).

Na década de 1960, a Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ) iniciou seus trabalhos com melhoramento de aves, seguida pelo Instituto de Zootecnia (IZ), em Nova Odessa. Na década de 1970 foi a vez da Universidade Federal de Viçosa (UFV), seguida pela Universidade Federal de Pelotas (UFPel) e pela Universidade Federal de Santa Maria UFSM). Em 1983, o Centro de Nacional de Pesquisa de Suínos e Aves (Embrapa Suínos e Aves) iniciou um programa de melhoramento genético de aves de corte, posteriormente ampliado para linhagens de postura após a transferência das aves da antiga Granja Guanabara, que estava em processo de falência, para a Embrapa (Euclides Filho, 1999; Silva, 2009).

Embora diversos centros de pesquisas desenvolvessem programas de melhoramento genético de aves, a abertura de mercado durante a década de 1990 reduziu os investimentos governamentais nesta área, fazendo com que algumas multinacionais passassem a dominar o mercado de matrizes no Brasil (Coelho et al., 2008; Euclides Filho, 1999).

2.3. Galinhas e ovos caipiras

Atualmente vem aumentando a preocupação dos consumidores com o bem-estar animal, que procuram produtos oriundos de sistemas de criação onde os animais utilizados na produção sejam bem tratados (Alves et al, 2007; Anderson, 2011; Blokhuis et al., 2003; Golden et al., 2012). Este mercado apresenta excelentes perspectivas já que estes consumidores estão dispostos a pagar um preço mais elevado pelos produtos que satisfaçam estas exigências (Anderson, 2011 e 2009; Hellmeister et al., 2003; Savino et al., 2007; Silva e Nakano, 1998).

Os produtos caipiras da avicultura são definidos como aqueles provenientes da criação de aves no sistema extensivo ou semi-intensivo, em que parte da alimentação é suprida por alimentos naturais como pasto, insetos e minhocas (Silva e Nakano, 1998). Segundo Coelho et al. (2008), o sistema orgânico/agroecológico de criação de frangos começou a ser normatizado pela Portaria nº 505, de 16 de outubro de 1998, baixada pelo Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Essa portaria se refere à produção de alimentos orgânicos, embora considere sistemas orgânico, ecológico, biológico, biodinâmico, natural, sustentável, regenerativo e agroecológico como sinônimos (Coelho et al., 2008).

Posteriormente, a Instrução Normativa nº 64 (BRASIL, 2008), de 18/12/2008, aprovou o Regulamento Técnico para os Sistemas Orgânicos de Produção Animal e Vegetal, que define normas técnicas para os sistemas orgânicos de produção de bovinos, bubalinos, ovinos, caprinos, equinos, suínos, aves, coelhos e abelhas. Com relação às aves de postura, esse regulamento proíbe a debicagem e a muda forçada e estabelece mínimo de 8 horas por dia no escuro quando as aves forem submetidas à iluminação artificial. Além disso não é permitido sistema intensivo de criação nem a retenção permanente das aves em gaiolas. A alimentação deve ter manejo orgânico e os aditivos utilizados devem ser provenientes de fontes naturais sem modificação genética. Ainda segundo este regulamento, os sistemas orgânicos devem dar preferência por animais de raças adaptadas às condições climáticas e ao tipo de manejo empregado, o que ressalta a importância das linhagens caipiras para a avicultura orgânica brasileira.

O sistema de produção de ovos caipira ou colonial é normatizado pelo ofício circular DOI/DIPOA nº 60/99 (BRASIL, 1999), de 04/11/1999, que determina que os produtos denominados ovos caipira, ovos tipo ou estilo caipira, ovos colonial ou ovos tipo colonial sejam provenientes de galinhas poedeiras alimentadas com dietas exclusivamente de origem vegetal, sendo proibida a inclusão de pigmentos sintéticos na ração. O sistema de criação é extensivo, com acesso a pasto, mas recomenda-se que seja construído um local coberto com ninhos de fácil acesso para as aves.

Os ovos caipiras ou coloniais possuem aspecto e sabor bem diferenciado e típico, e a cor da gema é fortemente pigmentada devido à maior deposição de xantofilas (Silva e Nakano, 1998; Van den Brand et al., 2004). Ovos caipiras apresentam maior teor de gordura total, gordura monoinsaturada e gordura poli-insaturada, e maiores níveis de ômega-3 e β-caroteno (Anderson, 2011), bem como três a quatro vezes mais vitamina D3 do que os ovos de galinhas de linhagens comerciais criadas em gaiolas, uma vez que o acesso ao piquete externo permite a exposição das aves à luz solar (Kühn et al., 2014). No entanto, Hidalgo et al. (2007) não encontraram diferenças

nutricionais significativas entre os ovos comercializados na Itália e oriundos de diferentes sistemas de criação de aves de postura.

Apesar desta crescente popularidade dos métodos de criação alternativos, existem poucos trabalhos sobre o desempenho de galinhas caipiras. Com esse objetivo foi criado, em 1997, o Projeto Frango Feliz pelo Departamento de Genética da Esalq/USP (Coelho et al., 2008) e cujas aves foram as progenitoras das aves utilizadas neste estudo. A Embrapa Suínos e Aves também desenvolve trabalhos nesta área, tendo obtido a poedeira colonial Embrapa 051, galinha híbrida, resultante do cruzamento entre linhas *Rhode Island Red* e *Plymouth Rock Branca*, rústica, especializada para produção de ovos de casca marrom e que se adapta bem aos sistemas menos intensivos (Figura 6).

Figura 6. Colonial EMBRAPA 051

2.4. Estrutura e formação dos ovos

O ovo é um componente importante na alimentação humana e seus principais componentes são a gema e a clara ou albúmen. O ovo é rico em proteínas, incluindo aminoácidos essenciais, lipídios, vitaminas lipossolúveis (A, D, E e K), vitaminas hidrossolúveis como as do complexo B e minerais, como cálcio, fósforo, ferro, zinco e selênio (Oliveira e Oliveira, 2013). Os lipídeos estão presentes exclusivamente na gema, onde também se encontram a maioria dos minerais e vitaminas.

A formação do ovo é parte integrante do ciclo reprodutivo das aves. O ovo é constituído por quatro estruturas básicas: gema, albúmen, membranas e casca, e sua formação leva em torno de duas semanas para ser concluída. A gema é formada no ovário, enquanto as outras estruturas

são formadas no oviduto, que é composto pelo infundíbulo, magno, istmo, útero ou câmara calcífera e vagina.

A gema é formada no ovário após a ação do hormônio folículo estimulante (FSH) e do hormônio luteinizante (LH). O FSH é responsável pelo crescimento dos óvulos no ovário e o LH induz o rompimento do óvulo e sua captação pelo infundíbulo (Oliveira e Oliveira, 2013). Em um ciclo de iluminação de 24 horas, o ovário normalmente produz uma gema, mas a alteração do período de iluminação pode estimular uma taxa mais rápida de amadurecimento folicular e acelerar a produção de ovos. A parede do folículo é altamente vascularizada exceto por uma região, o estigma, onde ocorre a ruptura. Embora raro, a ocorrência de hemorragia neste evento ocasiona o aparecimento de uma mancha de sangue ligada à gema (Solomon, 1997).

A gema é um complexo lipoproteico com alto teor de colesterol e que contém quantidades substanciais de vitaminas lipossolúveis, A, D, E e K, e fosfolipídeos, além de cálcio e magnésio (Oliveira e Oliveira, 2013, Solomon, 1997). A coloração da gema decorre da deposição de xantofilas, que são pigmentos carotenóides oriundos da alimentação das aves. A coloração da gema pode ser medida através de uma escala de cores que varia do número 1 (amarelo mais claro) até o número 15 (mais próximo da cor laranja).

O conteúdo da gema é coberto pela membrana vitelina, que é formada no infundíbulo (Roberts, 2004). Nos ovos frescos, a membrana vitelina é ligada às chalazas por fibras proteicas, mas com o decorrer do tempo estas vão perdendo sua função. Dessa forma, a resistência da membrana vitelina decresce com a idade do ovo, podendo ser utilizada como medida de qualidade (Oliveira e Oliveira, 2013).

O albúmen representa cerca de 60% do peso total do ovo e é produzido no magno pelas células produtoras de albúmen (Oliveira e Oliveira, 2013). Além da função nutricional, o albúmen protege a gema amortecendo impactos no ovo, tem ação bactericida e serve como suporte para a deposição da casca e das membranas da casca. Ele é constituído por 80% de água e os outros 20% são uma complexa mistura de 40 diferentes tipos de proteínas além de traços de minerais e carboidratos (Roberts, 2004; Solomon, 1997). Seus principais componentes proteicos são a ovalbumina, a conalbumina ou ovotransferrina, a ovomucóide, a lisozima e a ovomucina. O albúmen é formado por quatro camadas: a camada densa interna, que fica em contato com a gema, a camada fluida interna, a camada densa externa e a camada fluida externa (Oliveira e Oliveira, 2013).

As chalazas são estruturas proteicas responsáveis por manter a gema centralizada no ovo (Oliveira e Oliveira, 2013). Embora as chalazas sejam formadas no magno inferior, tem sido sugerido que uma enzima secretada no infundíbulo é ativada quando o óvulo atinge o magno e que

os processos de redução bioquímica, em conjunto com a rotação do ovo à medida que ele progride no oviduto, fazem com que o albúmen se separe e se torça nos polos formando a chalaza (Solomon, 1997).

As membranas interna e externa estão localizadas entre o albúmen e a casca e são produzidas pelas células secretoras de proteína localizadas no istmo. Elas estão intimamente aderidas, exceto no polo mais largo do ovo, onde a separação entre elas forma a câmara de ar. A principal função da câmara de ar é permitir as trocas gasosas entre o embrião e o meio externo na fase final da incubação. Ela é quase inexistente logo após a postura e vai aumentando conforme o ovo envelhece, sendo um importante critério para avaliação da idade e da qualidade do ovo (Oliveira e Oliveira, 2013).

A casca é produzida no útero sendo composta principalmente por carbonato de cálcio, mas também carbonato de magnésio, fosfato de cálcio, matéria orgânica, proteína e pigmentos (Oliveira e Oliveira, 2013; Solomon, 1997). A matriz orgânica da casca do ovo consiste nas membranas da casca, nos núcleos mamilares, na matriz da casca e na cutícula. A porção inorgânica da casca do ovo é constituída principalmente por carbonato de cálcio (Roberts, 2004).

A principal função da casca é proteger o embrião e permitir a difusão de gases respiratórios, auxiliando na conservação do teor de água do ovo, além de ser uma importante barreira à penetração de microrganismos. É a estrutura do ovo que leva mais tempo para ser formada, em torno de 18 a 20 horas (Oliveira e Oliveira, 2013).

A casca possui numerosos poros de diâmetros variados, distribuídos de forma não uniforme pela sua superfície. A maioria destes poros está obstruída por fibras proteicas, impedindo a contaminação bacteriana, mas cerca de 1% permanece desobstruída.

O carbonato de cálcio, principal componente da casca, é formado pelas células glandulares uterinas utilizando cálcio proveniente originalmente do intestino e passando depois pelo plasma sanguíneo. A deposição de cálcio só ocorre quando há uma sincronização da presença de uma gema no útero e uma ovulação, sugerindo uma ação regulatória hormonal (Oliveira e Oliveira, 2013).

A cutícula é a última camada a ser formada, sendo secretada na vagina. Ela é depositada sob a casca do ovo atuando como lubrificante no momento da postura. Possui duas camadas e é constituída principalmente por glicoproteínas insolúveis em água. A cutícula se desidrata logo após a postura, obstruindo a maioria dos poros da casca, o que ajuda a prevenir as perdas gasosas e impedir a entrada de micro-organismos no interior do ovo, preservando a sua qualidade interna (Oliveira e Oliveira, 2013).

2.5. Características de qualidade dos ovos

A produção de ovos é a característica mais importante nos programas de seleção de galinhas poedeiras, embora ultimamente a demanda pela qualidade dos ovos por parte dos consumidores venha crescendo (Wolc et al., 2007).

A qualidade do ovo pode ser definida como sendo o conjunto de características responsáveis por sua aceitação pelo consumidor ou como matéria prima para a indústria de alimentos (Oliveira & Oliveira, 2013). Ela envolve um grande número de características relacionadas com a casca, o albúmen e a gema e pode ser dividida em qualidade interna e qualidade externa ou da casca. As principais características de qualidade da casca são integridade, limpeza, formato, textura, tamanho ou peso do ovo, gravidade específica, cor da casca, resistência da casca, peso da casca e espessura da casca. A qualidade interna é baseada no tamanho da câmara de ar, qualidade do albúmen, qualidade da gema, cor da gema, integridade da membrana vitelina e presença de manchas de sangue ou carne (De Ketelaere et al., 2004; Roberts, 2004).

A qualidade da casca vem ganhando importância nos programas de melhoramento uma vez que ovos sujos, deformados, com manchas de sangue, depósitos de cálcio, quebrados ou sem casca não podem ser vendidos e consequentemente geram grandes perdas para os produtores. Ela pode ser afetada pela linhagem e idade da galinha, muda forçada, fatores nutricionais, doença, estresse geral e estresse térmico (Roberts, 2004). A casca é responsável pela segurança e preservação da qualidade dos componentes internos do ovo e a má qualidade da casca limita a aceitabilidade do produto, reduzindo a produção efetiva (Wolc et al., 2012). Dessa forma, melhorar a qualidade geral da casca tem um impacto econômico significativo na indústria avícola (Ingram et al., 2008).

A qualidade da casca pode ser medida de várias formas, mas alguns métodos exigem a destruição do ovo. Além disso, alguns métodos são diretos, enquanto outros são indiretos. Os métodos diretos incluem medidas de resistência à ruptura da casca, como força de fratura por impacto, força de perfuração ou compressão quase-estática. Meios indiretos incluem gravidade específica, deformação não destrutiva, espessura da casca e peso da casca (Roberts, 2004).

O termo qualidade da casca é frequentemente usado como sinônimo de resistência da casca e denota a capacidade das cascas de ovos de resistirem a forças externas sem rachar ou quebrar (De Ketelaere et al., 2002). Garantir a integridade dos ovos é importante para evitar as perdas na cadeia produtiva (Blanco et al., 2014). Além disso, rachaduras não detectadas podem permitir a contaminação dos ovos por microrganismos patogênicos (Dunn et al., 2005).

A resistência da casca pode ser medida de várias formas, sendo que a mais utilizada é a força de fratura por compressão. Outros métodos incluem testes de punção e testes de impacto. Todos estes métodos diretos são destrutivos, mas métodos indiretos podem ser utilizados,

assumindo que os valores indiretos estão correlacionados com os valores diretos. Eles medem um parâmetro que está relacionado à resistência da casca do ovo, como a espessura da casca ou a porcentagem de peso da casca em relação ao peso total do ovo. Entretanto, valores encontrados na literatura sugerem que existem apenas correlações moderadas entre esses parâmetros. Esta observação indica que existem vários mecanismos envolvidos na fratura da casca, além da resistência do material da casca do ovo (De Ketelaere et al., 2004).

A ovoscopia é um método indireto que consiste em colocar o ovo contra um foco de luz em ambiente escuro, de forma a permitir a observação de pequenas trincas e falhas de calcificação da casca. Este método tem a vantagem de ser rápido e não destrutivo e atualmente está disponível nas máquinas modernas de classificação de ovos (Oliveira e Oliveira, 2013).

A gravidade específica do ovo é um método indireto para avaliação da qualidade da casca. Os ovos são imersos em soluções salinas de gravidade específica diferente para verificar em qual concentração de solução eles flutuam. No entanto, este método é apenas um indicador indireto da quantidade de casca presente em relação ao tamanho do ovo, não sendo um bom indicador da qualidade da casca (Roberts, 2004).

A espessura e o peso da casca estão relacionados com a rigidez da casca. A espessura da casca é avaliada utilizando três medidas de um fragmento de casca da parte equatorial do ovo. O peso da casca é medido com uma balança apropriada após a secagem da casca. A percentagem de casca é obtida como a razão entre o peso da casca e o peso do ovo. A rigidez da casca é determinada não apenas pela quantidade de casca que está presente, mas também pela qualidade da construção da casca que pode ser avaliada examinando a ultraestrutura da casca no microscópio eletrônico. Nos casos em que a espessura, o peso e o percentual de casca estão bons, mas a resistência da casca é relativamente baixa, o problema pode estar na estrutura da casca ou em como a casca foi construída (Roberts, 2004).

Novas técnicas, como a medição da rigidez dinâmica da casca do ovo, estão sendo desenvolvidas e comparadas com medidas tradicionais de rigidez da casca (de Ketelaere et al., 2002). Esses autores apontam que as diferentes técnicas para avaliação da rigidez da casca do ovo apresentam informações diferentes.

O peso do ovo é uma indicação do seu tamanho e um importante critério na determinação do preço do ovo no mercado (Blanco et al., 2014). O tamanho ideal varia de acordo com o mercado em diferentes países, mas geralmente ovos muito pequenos ou muito grandes tem menor aceitação no mercado, sendo que os ovos muito grandes apresentam problemas de estabilidade das bandejas na comercialização (Flock et al., 2007). Durante o armazenamento, o peso do ovo diminui devido à perda de água e dióxido de carbono, o que leva a um aumento no tamanho da câmara de ar e a

alterações nas propriedades físico-químicas do albúmen, que fica mais claro, menos viscoso e com pH mais alto (Solomon, 1997).

Outra característica utilizada para avaliação da qualidade do ovo é o índice de forma, obtido pela razão entre o diâmetro menor e o diâmetro maior do ovo. O formato do ovo é importante na comercialização, tendo em vista que grandes alterações no formato podem prejudicar a aparência e a acomodação dos ovos nas embalagens, bem como na incubação, já que o formato do ovo pode interferir na eclodibilidade (Blanco et al., 2014; Oliveira e Oliveira, 2013).

A qualidade interna do ovo é medida principalmente pela qualidade da gema e do albúmen e pode ser afetada pelo armazenamento, linhagem e idade da galinha, muda forçada, nutrição e doenças. Um ovo de boa qualidade não deve conter manchas de sangue, pigmentação ou carne. As manchas de sangue na gema ocorrem principalmente no momento da ovulação em decorrência do rompimento de pequenos vasos sanguíneos, mas podem ocorrer também no albúmen. As manchas de carne são pequenos pedaços de tecidos provenientes do oviduto que se desprendem e se depositam na superfície da gema ou do albúmen (Oliveira e Oliveira, 2013; Roberts, 2004).

O albúmen é o principal indicador da qualidade interna do ovo, sendo que a redução na espessura do albúmen é um sinal da perda de qualidade (De Ketelaere et al., 2004). A qualidade do albúmen é medida em unidades Haugh (HU), um índice que utiliza a altura do albúmen corrigida para o peso do ovo. A HU pode ser obtida pela seguinte fórmula, proposta por Raymond Haugh em 1937:

$$HU = 100 \log (h - 1{,}7w^{0{,}37} + 7{,}6)$$

sendo h = altura do albúmen em milímetros e w = peso do ovo em gramas.

Tanto a unidade Haugh como a altura do albúmen medem a viscosidade do albúmen (Roberts, 2004). A redução da altura do albúmen durante o armazenamento ocorre devido à destruição da estrutura proteica do albúmen denso, o que ocasiona a liberação da água que estava ligada às moléculas de proteína, fluidificando o albúmen denso e diminuindo a sua viscosidade (Oliveira e Oliveira, 2013).

A qualidade da gema está relacionada à sua aparência, textura, firmeza e cheiro. (De Ketelaere, 2004) e pode ser avaliada pela cor da gema e pela resistência da membrana perivitelina, que circunda a gema. Se a membrana perivitelina não é resistente, como em um ovo velho, a gema vai se romper mais facilmente (Roberts, 2004).

A gema deve apresentar uma coloração uniforme, sem manchas, e sem odor desagradável (Solomon, 1997). A cor da gema depende principalmente da alimentação fornecida às aves, sendo resultado da deposição de pigmentos carotenóides, na gema do ovo. (Oliveira e Oliveira, 2013). O

método mais utilizado para a avaliação da cor da gema é o leque de cores da gema DSM (anteriormente denominado leque de cores da gema Roche) que é um índice de 15 escalas para distinguir a densidade da cor da gema, variando do número 1 (amarelo claro) até o número 15 (alaranjado escuro).

Produzir ovos de boa qualidade é fundamental para a viabilidade econômica da indústria avícola. Portanto melhorar a qualidade dos ovos deve ser um objetivo importante dos programas de melhoramento genético tendo em vista que a baixa qualidade afeta a lucratividade do produtor (Blanco et al., 2014; Wolc et al., 2012; Zita et al., 2009). As características de qualidade dos ovos apresentam variação que tem componentes genéticos e ambientais que precisam ser avaliados (Dunn et al., 2005). Conhecer e entender estes fatores que afetam a qualidade do ovo é essencial para a produção de ovos de alta qualidade (Roberts, 2004).

2.6. Fatores que afetam a qualidade dos ovos

Devido à natureza complexa do processo de formação dos componentes internos do ovo e da casca, diversos problemas podem ocorrer em qualquer um dos estágios da formação do ovo. Além disso, esses problemas podem ser resultado de uma combinação de fatores, e não de um único fator.

Em decorrência da seleção genética, as diferentes linhagens de galinhas diferem significativamente em relação às características de produção e qualidade dos ovos, sendo necessária a estimação dos parâmetros genéticos para cada linhagem específica. Além disso, a seleção para uma característica pode afetar as outras características correlacionadas, de forma que os programas de seleção precisam avaliar todas as características para que a melhoria em uma delas não prejudique outras igualmente importantes.

A qualidade dos ovos diminui conforme as galinhas envelhecem, principalmente no que se refere à casca. O tamanho do ovo aumenta conforme a galinha envelhece, bem como o peso do ovo e o de seus componentes. No entanto, o peso da casca não aumenta na mesma proporção que o peso do ovo, devido à menor capacidade da galinha para absorver o cálcio ou mobilizá-lo dos tecidos ósseos. Dessa forma, a razão entre o peso da casca e o peso do ovo diminui. Isto ocorre devido à menor capacidade da galinha para absorver o cálcio ou mobilizá-lo dos tecidos ósseos, reduzindo a resistência e a espessura da casca. No entanto, Zita e al. (2009) verificaram um aumento na espessura e na resistência da casca com o envelhecimento das galinhas. Também é observada uma redução na altura do albúmen, que se torna mais liquefeito, e a consequente redução no índice Haugh (Oliveira e Oliveira, 2013; Roberts, 2004).

Os efeitos do envelhecimento na qualidade dos ovos podem ser revertidos parcialmente através da muda forçada. Os resultados dependem da idade da galinha e da natureza e severidade da muda (Roberts, 2004).

Fatores nutricionais também podem afetar a qualidade dos ovos. Como a casca do ovo é constituída basicamente de carbonato de cálcio, a dieta de aves poedeiras deve conter quantidades adequadas de cálcio. A proporção de cálcio e fósforo na dieta também é importante, tendo em vista que níveis altos de fósforo podem interferir na absorção de cálcio no intestino, resultando na redução da qualidade da casca. O zinco também é um mineral importante pois é um co-fator da anidrase carbônica, uma enzima envolvida na síntese de carbonato de cálcio. A deficiência de vitamina D produz os mesmos sintomas da carência de cálcio, uma vez que esta vitamina está envolvida no metabolismo do cálcio. Outras vitaminas, como A, C e E, assim como alguns minerais e proteínas, também são importantes para a qualidade dos ovos (Oliveira e Oliveira, 2013; Roberts, 2004).

A redução na qualidade da casca do ovo também pode ser decorrente de situações de estresse térmico ou geral. Fatores que ocasionam estresse, como alta densidade de alojamento, falhas na iluminação, realocação de aves e retirada de ninhos dos galpões quando as aves já tinham acesso a eles, podem induzir a falhas no processo de formação da casca, como trincas na casca ou quebras internas ainda no útero, denominadas de *body-checked eggs*. O estresse também pode produzir atrasos no tempo de postura, permitindo que um segundo ovo chegue ao útero antes da saída do primeiro. O ovo que ficou retido, denominado *white-banded egg*, apresenta uma banda branca no ponto de contato com o segundo ovo, decorrente de falhas no processo de mineralização. O segundo ovo apresenta um achatamento no ponto de contato e é denominado *slab-sided egg* (Oliveira e Oliveira, 2013; Roberts, 2004; Solomon, 1997). O estresse térmico provoca diminuição no consumo de ração, consequentemente limitando a disponibilidade de cálcio no sangue (Oliveira e Oliveira, 2013; Roberts, 2004).

Diversas doenças infecciosas podem afetar a qualidade da casca, da gema e do albúmen. Entre as principais doenças estão a bronquite infecciosa, a doença de Newcastle, a *egg drop syndrome*, a gripe aviária, a encefalomielite aviária e o *Mycoplasma gallisepticum*. As aves doentes podem produzir ovos com casca despigmentada, deformada ou frágil, ou mesmo ovos sem casca sangue. O vírus da bronquite infecciosa pode afetar também a qualidade do albúmen (Oliveira e Oliveira, 2013; Roberts, 2004).

O tempo de armazenamento afeta principalmente a qualidade interna do ovo. Com o decorrer do tempo, o albúmen se torna mais claro, menos viscoso e apresenta um aumento do pH, levando a uma redução da altura do albúmen e do índice Haugh. O aumento da temperatura no

armazenamento acelera estas alterações. O peso do ovo diminui, devido à perda de água e dióxido de carbono, levando ao aumento no tamanho da câmara de ar. O tempo de armazenamento também afeta a qualidade da membrana vitelina, aumentando a possibilidade de ruptura da gema (Roberts, 2004; Solomon, 1997).

2.7. Cor da casca

Os ovos das primeiras aves eram provavelmente brancos e sofreram processo de seleção natural de forma a protegê-los de ataques de predadores. As espécies cujos ninhos se encontram a salvo de predadores tendem a manter a cor branca na casca do ovo. As espécies que nidificam em locais mais propícios a ataques têm mais chances de depositar ovos de cores avermelhadas ou mesmo azuis, dependendo da localização do ninho (Kilner, 2006). Várias possíveis funções para a cor dos ovos foram sugeridas como camuflagem, mimetismo, filtro para a radiação solar, reforço para a estrutura da casca e proteção térmica para os embriões (Liu e Cheng, 2010).

Os ovos de galinha têm coloração predominantemente marrom ou branca e linhagem chilena Araucana foi a primeira linhagem descrita com postura de ovos com casca azul (Wang et al., 2013).

Apesar da cor da casca não ser uma indicação da qualidade interna ou do valor nutricional do ovo (Flock et al., 2007), ela exerce uma importante influência na preferência do consumidor e consequentemente nos preços do produto, tornando a cor da casca um importante parâmetro de qualidade do ovo (Lang e Wells, 1987; Wei e Bitgood, 1990). Os consumidores tendem a comprar os ovos pela cor de sua preferência, mesmo havendo diferença no preço de cada um (Li et al., 2006), sendo maior preferência pelos ovos de casca marrom (Samiullah et al., 2015). A intensidade e a uniformidade da pigmentação também são importantes fatores a serem considerados para uma boa aceitação do produto no mercado consumidor (Li et al., 2013).

Os três principais pigmentos que proporcionam a cor da casca do ovo são a protoporfirina-IX, a biliverdina e seu quelato de zinco (Kennedy e Vevers, 1976). Os ovos de casca marrom contêm grandes quantidades de protoporfirina IX e quantidades relativamente pequenas de biliverdina-IX (Kennedy e Vevers, 1976; Lang e Wells, 1987; Wang et al., 2009). Estes pigmentos são produzidos no útero e depositados na casca do ovo no final da sua formação (Baird et al., 1975; Lang e Wells, 1987; Li et al., 2013; Wang et al., 2007; Wang et al., 2010). O pigmento é depositado em todas as camadas da casca, incluindo as membranas, mas a maior parte está concentrada na camada mais externa da casca e na cutícula (Samiullah et al., 2015). As protoporfirinas são um

precursor imediato da molécula heme (Liu e Cheng, 2010) e conferem uma cor avermelhada ou marrom à casca do ovo (Kennedy e Vevers, 1976, Wang et al., 2011)

Os ovos de casca azul contêm protoporfirina IX, biliverdina e seu quelato de zinco e vestígios de coproporfirina (Kennedy e Vevers, 1973). A biliverdina é um pigmento verde, subproduto do metabolismo da hemoglobina (Liu e Cheng, 2010) e os ovos que contêm este pigmento apresentam casca de cor azul, verde ou variações destas tonalidades (Punnett, 1933, Wang et al., 2010). Nos mamíferos, a biliverdina é convertida em bilirrubina pela enzima biliverdina redutase, no entanto, nas aves esta enzima tem uma baixa atividade, o que torna a biliverdina a principal forma de excreção (Wang et al., 2011). Inicialmente postulou-se que a biliverdina era derivada dos eritrócitos (Kennedy e Vevers, 1973; Lang e Wells, 1987) porém Zhao et al. (2006) demonstraram que a biliverdina é produzida no útero, transportada para o fluido uterino e posteriormente depositada na casca do ovo, já que aves com ovos de casca marrom apresentam a mesma quantidade de biliverdina no soro e na bile que aves com ovos de casca azul. A eficiência do mecanismo que controla o transporte da biliverdina do útero para o fluido uterino desempenha um papel fundamental na regulação da cor da casca, já que a concentração de biliverdina no fluido uterino influencia a deposição de biliverdina na casca do ovo (Liu et al., 2010).

Os ovos de casca branca não contêm pigmentos, ou podem conter traços de protoporfirina ou traços de protoporfirina e biliverdina juntos (Kennedy e Vevers, 1976).

A protoporfirina e a biliverdina derivam do catabolismo do heme. Como têm o mesmo precursor, a quantidade total destes pigmentos é significativamente semelhante em ovos de casca azul e ovos de casca marrom (Wang et al., 2009).

Além do fator genético, a cor da casca é alterada pelo estresse, pela idade da galinha, por doenças e outros fatores ambientais que interferem na deposição dos pigmentos (Aygun, 2014; Liu e Cheng, 2010; Samiullah et al., 2015). Os ovos de galinhas mais velhas tendem a ser maiores e mais claros, já que a quantidade de pigmento depositado na casca não sofre alteração significativa com a idade e o maior tamanho do ovo aumenta a área da superfície da casca onde o pigmento é depositado (Odabasi et al., 2007).

A cor da casca do ovo pode ser medida pela luz refletida em cada comprimento de onda ou em faixas específicas através de um espectrofotômetro, que quantifica os dados espectrais para determinar as coordenadas no espaço de cor L*a*b* e apresenta esta informação em termos numéricos. O espaço de cor L*a*b*, também conhecido como Sistema CIELab, é baseado na teoria de cores opostas, onde duas cores não podem ser verdes e vermelhas ao mesmo tempo, ou amarelas e azuis ao mesmo tempo. O L* indica a luminosidade, o a* é a coordenada cromática vermelho/verde e o b* é a coordenada cromática amarelo/azul.

Os ovos das galinhas apresentam uma grande variação na tonalidade da casca, dependendo dos pigmentos depositados durante sua formação. Ovos com casca azul, com ou sem tons de verde, contêm apenas biliverdina ou podem conter também protoporfirina e biliverdina ou biliverdina e quelato de biliverdina de zinco ou quelato de protoporfirina, biliverdina e biliverdina de zinco. As cascas de ovos que apresentam tons de marrom contêm apenas protoporfirina, e aquelas com coloração oliva contêm protoporfirina e biliverdina (Kennedy e Vevers, 1976). Isso indica que os mecanismos de síntese e deposição dos diferentes pigmentos são geneticamente independentes, embora possam ser combinados apresentando as diferentes tonalidades (Kilner, 2006).

A cor marrom da casca dos ovos é uma característica complexa e muitos genes são propostos para explicar as diferenças nas tonalidades da cor marrom, alguns com efeito dominante (Gowe et al., 1965). Esta característica parece ser controlada por um grande número de genes que codificam enzimas envolvidas na produção e deposição dos pigmentos na casca do ovo (Liu e Cheng, 2010), tendo sido relatados dois loci autossômicos: um locus com dominância incompleta que controla a quantidade de deposição de pigmento e outro homozigoto recessivo capaz de inibir completamente a deposição (Wei et al., 1992).

A cor azul da casca dos ovos exibe uma herança autossômica dominante e os ovos postos por aves homozigotas são mais azuis do que os ovos de heterozigotos (Wang et al., 2013). O gene autossômico dominante relacionado à cor azul da casca do ovo foi denominado *Oocyan* (*locus* O) e mapeado no braço curto do cromossomo 1 a uma distância de 2,3 cM do vírus endógeno da leucose aviária (ALEV1) (Bartlett et al., 1996; Bitgood et al., 2000). Posteriormente Wang et al. (2010) localizaram o *locus* O no intervalo Chr1: 67,296,991-69,140,571 em galinhas da linhagem Dongxiang.

O fenótipo da casca azul é causado por uma inserção de um retrovírus na região do flanco 5' do gene SLCO1B3 que codifica um transportador de membrana responsável pelo transporte de sais biliares (Wang et al., 2013; Wragg et al., 2012).

Recentemente Darwish et al. (2019) identificaram uma região de 653,819 Kb no cromossomo 21 da galinha que está associada com características de intensidade da cor da casca do ovo. Esta região genômica contém os genes candidatos AJAP1, C1ORF174, CAMTA1, CEP104 e TNFRSF9, que foram significativamente associados a galinhas de ovos com casca azul escuro e azul claro.

Embora os genes envolvidos na síntese de pigmentos tenham sido recentemente identificados, o controle genético da síntese e deposição dos pigmentos nos ovos não é totalmente compreendido (Darwish et al., 2019; Samiullah et al., 2015).

REFERÊNCIAS

Alves SP, Silva IJO, Stefan SM (2007) Avaliação do bem-estar de aves poedeiras comerciais: efeitos do sistema de criação e do ambiente bioclimático sobre o desempenho das aves e a qualidade de ovos. **Revista Brasileira de Zootecnia** 36 (5): 1388-1394.

Anderson KE (2011) Comparison of fatty acid, cholesterol, and vitamin A and E composition in eggs from hens housed in conventional cage and range production facilities. **Poultry Science** 90: 1600–1608

Anderson KE (2009) Overview of natural and organic egg production: Looking back to the future. **Journal of Applied Poultry Research** 18: 348–354.

Aygun A (2014) The relationship between eggshell colour and egg quality traits in table eggs. **Indian Journal of Animal Research** 48 (3): 290-294.

Baird T, Solomon SE, Tedstone DR (1975) Localisation and characterization of egg shell porphyrins in several avian species. **British Poultry Science** 16: 201–208.

Bartlett JR, Jones CP, Smith EJ (1996) Linkage analysis of endogenous viral element 1, blue eggshell, and pea comb loci in chickens. **Journal of Heredity** 87 (1): 67-70.

Bitgood JJ, Briles RW, Briles WE (2000) Further tests for genetic linkages of three morphological traits, three blood groups, and break points of two chromosome translocations on chromosome one in the chicken. **Poultry Science** 79: 293–295.

Blanco AE, Icken W, Ould-Ali D, Cavero D, Schmutz M (2014) Genetic parameters of egg quality traits on different pedigree layers with special focus on dynamic stiffness. **Poultry Science** 93: 2457–2463.

Blokhuis HJ, Jones RB, Geers R, Miele M, Veissier I (2003) Measuring and monitoring animal welfare: transparency in the food product quality chain. **Animal Welfare** 12: 445-455.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 64, de 18 de dezembro de 2008. Aprova o Regulamento Técnico para os Sistemas Orgânicos de Produção Animal e Vegetal. Ministério da Agricultura, Pecuária e do Abastecimento. Gabinete do Ministro. **Diário Oficial da União**, Brasília, 19/12/2008. s. 1, p. 21._____. Ofício circular 60/1999. Brasília, 1999. 2 p.

Coelho AAD, Savino VJM, Rosário MF (2008) **Frango feliz: caminhos para a avicultura alternativa**. Piracicaba: FEALQ 88 p.

Darwish HYA, Dalirsefat SB, Dong X, Hua G, Chen J, Zhang Y, Li J, Xu J, Li J, Deng X, Wu C (2019) Genome-wide association study and a post replication analysis revealed a promising

genomic region and candidate genes for chicken eggshell blueness. **PLoS ONE** 14 (1): e0209181.

De Ketelaere B, Govaerts T, Coucke P, Dewil E, Visscher J, Decuypere E, De Baerdemaeker J (2002) Measuring the eggshell strength of 6 different genetic strains of laying hens: Techniques and comparisons. **British Poultry Science** 43: 238–244.

De Ketelaere B, Bamelis F, Kemps B, Decuypere E, De Baerdemaeker J (2004) Non-destructive measurements of the egg quality. **World's Poultry Science Journal** 60: 289-302.

Diane Jacky. Disponível em: http://www.dianejacky.com/Gallery.html. Acesso em: 20 de fevereiro de 2019.

Dunn LC, Bain M, Edmond A, Wilson PW, Joseph N, Solomon S, De Ketelaere B, De Baerdemaeker J, Schmutz M, Preisinger R, Waddington D (2005) Heritability and genetic correlation of measurements derived from acoustic resonance frequency analysis; a novel method of determining eggshell quality in domestic hens. **British Poultry Science** 46 (3): 280–286.

EMBRAPA. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/85732/1/DCOT-347.pdf>. Acesso em: 20 de fevereiro de 2019.

Euclides Filho K (1999) Melhoramento genético animal no Brasil: fundamentos, história e importância. **Embrapa Gado de Corte** 63p. (Embrapa Gado de Corte. Documentos, 75).

Figueiredo EAP, Schmidt GS, Ledur MC, Ávila VS (2003) **Raças e linhagens de galinhas para criações comerciais e alternativas no Brasil**. Embrapa Suínos e Aves. Comunicado Técnico 347 8p.

Flock DK, Schmutz M, Preisinger R (2007) Optimierung der Eiqualität aus züchterischer Sicht. **Züchtungskunde** 79 (4): 309-319.

Golden JB, Arbona DV, Anderson KE (2012) A comparative examination of rearing parameters and layer production performance for brown egg-type pullets grown for either free-range or cage production. **Journal of Applied Poultry Research** 21: 95-102.

Gowe RS, Budde HW, McGann PJ (1965) On measuring egg shell color in poultry breeding and selection programs. **Poultry Science** 44: 264–270.

Hellmeister Filho P, Menten JFM, Silva MAN, Coelho AAD, Savino VJM (2003) Efeito de genótipo e do sistema de criação sobre o desempenho de frangos tipo caipira. **Revista Brasileira de Zootecnia** 32 (6): 1883-1889.

Hidalgo A, Rossi M, Clerici F, Ratti S (2007) A market study on the quality characteristics of eggs from different housing systems. **Food Chemistry** 106: 1031–1038.

Ingram DR, Hatten III LF, Homan KD (2008) A study on the relationship between eggshell color and eggshell quality in commercial broiler breeders. **International Journal of Poultry Science** 7 (7): 700-703.

Kennedy GY, Vevers HG (1973) Eggshell pigments of the Araucano fowl. **Comparative Biochemistry and Physiology** 44: 11-25.

Kennedy GY, Vevers HG (1976) A survey of avian eggshell pigments. **Comparative Biochemistry and Physiology** 55: 117-123.

Kilner RM (2006) The evolution of egg colour and patterning in birds. **Biological Reviews** 81: 383–406.

Kühn J, Schutkowski A, Kluge H, Hirche F, Stangl GI (2014) Free-range farming: A natural alternative to produce vitamin D-enriched eggs. **Nutrition** 30: 481–484.

Lang MR, Wells JW (1987) A review of eggshell pigmentation. **World's Poultry Science Journal** 43: 238-246.

Li XY, Xu GY, Hou ZC, Zhao R, Yang N (2006) Variation of eggshell colour in different egg-type chickens. **Archiv für Geflügelkunde** 70 (6): 278–282.

Li G, Chen S, Duan Z, Qu L, Xu G, Yang N (2013) Comparision of protoporphyrin IX content and related gene expression in the tissues of chickens laying brown-shelled eggs. **Poultry Science** 92: 3120-3124.

Liu HC, Cheng WTK (2010) Eggshell pigmentation: a review. **Journal of the Chinese Society of Animal Science** 39 (2): 75-89.

Liu HC, Hsiao MC, Hu YH, Lee SR, Cheng WTK (2010) Eggshell pigmentation study in blue-shelled and white-shelled ducks. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences** 23 (2): 162-168.

Odabasi AZ, Miles RD, Balaban MO, Portier KM (2007) Changes in brown eggshell color as the hen ages. **Poultry Science** 86: 356–363.

Oliveira BL, Oliveira DD (2013) Qualidade e tecnologia de ovos. **UFLA** 224 p.

Punnett RC (1933) Genetic studies in poultry. IX. The blue egg. **Journal of Genetics** 27: 465-470.

Roberts JR (2004) Factors affecting egg internal quality and egg shell quality in laying hens. **Journal of Poultry Science** 41: 161-177.

Samiullah S, Roberts JR, Chousalkar K (2015) Eggshell color in brown-egg laying hens - a review. **Poultry Science** 94: 2566–2575..

Savino VJM, Coelho AAD, Rosário MF, Silva MAN (2007) Avaliação de materiais genéticos visando à produção de frango caipira em diferentes sistemas de alimentação. **Revista Brasileira de Zootecnia** 36 (3): 578-583

Schmidt GS, Ávila VS (1990) Linhagens avícolas brasileiras. In: SOCIDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA (Campinas. SP). Novas tecnologias de produção animal. Piracicaba: **FEALQ** p.1-6.

Silva MA (2009) Evolução do melhoramento genético de aves no Brasil. **Revista Ceres** 56 (3): 437-445

Silva RDM, Nakano M (1998) **Sistema caipira de criação de galinhas**. Piracicaba: O Editor 110 p.

Solomon SE (1997) Egg and eggshell quality. **Iowa State University Press**, Ames.

Van den Brand H, Parmentier HK, Kemp B (2004) Effects of housing system (outdoor vs cages) and age of laying hens on egg characteristics. **British Poultry Science** 45 (6): 745-752.

Van Eenennaam AL, Weigel KA, Young AE, Cleveland MA, Dekkers JCM (2014) Applied animal genomics: results from the field **Annual Review of Animal Biosciences** 2: 105-39.

Wang XT, Deng XM, Zhao CJ, Li JY, Xu GY, Lian LS, Wu CX, (2007) Study of the deposition process of eggshell pigments using an improved dissolution method. **Poultry Science** 86: 2236-2238.

Wang XT, Zhao CJ, Li JY, Xu GY, Lian LS, Wu CX, Deng XM (2009) Comparison of the total amount of eggshell pigments in Dongxiang brown-shelled eggs and Dongxiang blue-shelled eggs. **Poultry Science** 88: 1735–1739.

Wang XT, Bai JR, Zhao CJ, Zhang H, Bao HG, Xu GY, Li JY, Lian LS, Wu CX, Deng XM (2010) Localisation of the genomic sequence interval for the blue eggshell gene using an F2 resource population of Dongxiang chickens. **British Poultry Science** 51 (4): 507-509.

Wang ZP, Liu RF, Wang AR, Li JY, Deng XM (2011) Expression and activity analysis reveal that heme oxygenase (decycling) 1 is associated with blue egg formation. **Poultry Science** 90: 836-841.

Wang Z, Qu L, Yao J, Yang X, Li G, Zhang Y, Li J, Wang X, Bai J, Xu G, Deng X, Yang N, Wu C (2013) An *EAV-H*P insertion in 5' flanking region of *SLCO1B3* causes blue eggshell in the chicken. **PLOS Genetics** 9 (1): e1003183.

Wei R, Bitgood JJ (1990) A new objective measurement of eggshell color. 1. A test for potential usefulness of two color measuring devices. **Poultry Science** 69: 1175-1780.

Wei R, Bitgood JJ, Dentine MR (1992) Inheritance of tinted eggshell colors in white-shell stocks. **Poultry Science** 71: 406-418.

Wolc A, Lisowski M, Szwaczkowski T (2007) Heritability of egg production in laying hens under cumulative, multitrait and repeated measurement animal models. **Czech Journal of Animal Science** 52 (8): 254–259.

Wolc A, Arango J, Settar P, O'Sullivan NP, Olori VE, White IMS, Hill WG, Dekkers JCM (2012) Genetic parameters of egg defects and egg quality in layer chickens. **Poultry Science** 91: 1292–1298.

Wragg D, Mwacharo JM, Alcalde JA, Hocking PM, Hanotte O (2012) Analysis of genome-wide structure, diversity and fine mapping of Mendelian traits in traditional and village chickens. **Heredity** 109: 6-18.

Zhao R, Xu GY, Liu ZZ, Li JY, Yang N (2006) A Study on Eggshell Pigmentation: Biliverdin in Blue-Shelled Chickens. **Poultry Science** 85: 546-549.

Zita L, Tůmová E, Štolc L (2009) Effects of genotype, age and their interaction on egg quality in brown-egg laying hens. **Acta Veterinaria Brno** 78: 85-91.

3. PARÂMETROS GENÉTICOS DE CARACTERÍSTICAS DE PRODUÇÃO E QUALIDADE DOS OVOS

Resumo

A estimação dos parâmetros genéticos é uma etapa importante nos programas de melhoramento genético em decorrência da especificidade destas estimativas para cada população sob seleção. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi estimar os parâmetros genéticos para as características de produção e qualidade do ovo em oito linhagens de galinhas caipiras. Foram utilizadas informações de produção total até 45ª semana (PROD) e idade à primeira postura (IPP) de 662 aves, bem como as medidas de peso do ovo (PO), altura do albúmen (AA), cor da gema (CG), unidades Haugh (HU), resistência da casca (RC), espessura da casca (EC), peso da gema (PG) e peso da casca (PC) de 2030 ovos. Os componentes de variância foram obtidos utilizando a metodologia de máxima verossimilhança restrita sob modelo misto animal. O maior coeficiente de herdabilidade (0,33) foi obtido para IPP, enquanto os menores coeficientes de herdabilidade foram estimados em 0,03 e 0,07 para CG e PG, respectivamente. As demais características apresentaram coeficientes de herdabilidade estimados entre 0,11 3 0,27. As correlações genéticas entre as características de qualidade da casca foram altas e variaram entre 0,36 e 0,69. Correlações genéticas altas também foram obtidas entre as características de qualidade interna do ovo. Correlações genéticas negativas, variando entre -0,48 e -0,05, foram obtidas entre PROD e as demais características de qualidade do ovo, indicando a necessidade de adoção de estratégias de seleção que considerem o progresso genético simultâneo dessas características, levando em consideração a correlação genética e a importância econômica das mesmas.

Palavras-chave: Componentes de variância; Correlação; Galinhas caipiras; Parâmetros genéticos; Qualidade dos ovos

Abstract

The estimation of genetic parameters is an essential step in animal breeding programs due to the specificity of these estimates for the population under selection. Therefore, the aim of this work was to estimate the genetic parameters for egg production and egg quality traits in eight experimental free-range chicken lines. The traits of interest were age at first egg (AFE), total egg production up to the 45th week (PROD), egg weight (EW), albumen height (AH), yolk color (YC), Haugh units (HU), eggshell strength (ESS), eggshell thickness (EST), yolk weight (YW) and eggshell weight (ESW). Phenotypic records of 645 laying hens and 2030 eggs were used. Variance components were estimated using the methodology of maximum likelihood restricted under animal mixed model, which included the fixed effects of contemporary groups, cage location and hen line, and the additive genetic, permanent environmental and residual effects. Heritabilities ranged from 0.03 to 0.33. High coefficient of heritability (0.33) was estimated for AFE, whereas moderate coefficients of heritability (between 0,18 and 0,27) were obtained for ESW, HU, PROD, AH and EW. Lower coefficients of heritability (between 0,03 and 0,13) were estimated for YC, YW, ESS and EST. Genetic correlations between PROD and egg quality traits were negative and varied between -0.42 and -0.05. High and positive genetic correlations (between 0.36 and 0.69) were estimated between eggshell quality traits, High genetic correlations were also obtained between internal egg quality traits. The antagonistic relationship between PROD and egg quality traits indicates the need of adopting strategies that would allow the simultaneous genetic progress on these traits by considering their genetic correlation and economic relevance.

Keywords: Genetic parameters; Variance components; Correlation; Egg quality; Free-range chickens; Laying hens

3.1. Introdução

O objetivo geral de qualquer programa de seleção de aves poedeiras é produzir animais com conversão alimentar mais eficiente e ótima qualidade dos ovos (De Ketelaere et al., 2002). A seleção genética tem ajudado a melhorar continuamente o desempenho da postura, a eficiência alimentar e a qualidade dos ovos, como também a adaptabilidade a diferentes ambientes e a resistência às doenças.

A estimativa dos parâmetros genéticos é imprescindível para o delineamento e a condução de programas de melhoramento animal pois permite entender e quantificar a influência da genética sobre a expressão fenotípica de uma determinada característica. Ela permite mensurar o grau de relacionamento desta característica com alguma outra ou mesmo entre duas medições da mesma característica coletadas em períodos diferentes da vida do animal. Estas informações auxiliam na escolha do método de seleção a ser utilizado pois permitem estimar a resposta da população em relação à seleção (Ledur et al., 1993).

Embora ultimamente venha crescendo a preocupação com a qualidade dos ovos, a produção continua a ser a característica mais importante nos programas de seleção de aves poedeiras. A seleção consistente visando o aumento da produção levou a um progresso indubitável para esta característica, principalmente auxiliada por uma maior e melhor compreensão do processo de postura (Wolc et al., 2007).

Devido ao bom resultado da seleção, a produção está se aproximando do limite biológico de um ovo por dia (De Ketelaere et al., 2002). Dessa forma, as características relacionadas à qualidade dos ovos vêm ganhando importância nos programas de melhoramento genético principalmente devido às perdas pela má qualidade dos ovos, gerando grande prejuízo para a cadeia produtora. Melhorar a estabilidade da casca e a qualidade interna dos ovos por seleção genética é uma questão primordial tanto para os produtores quanto para os consumidores (Blanco et al., 2014).

Muitos trabalhos têm sido desenvolvidos sobre melhoramento genético de linhagens industriais de aves poedeiras, porém poucos estudos avaliam as linhagens caipiras. Estas linhagens podem estar melhor adaptadas ao nosso clima e à produção de ovos nos sistemas extensivo e semi-extensivo, sendo de grande importância para os produtores de ovos caipiras. Desta forma, o objetivo neste estudo foi estimar os parâmetros genéticos e fenotípicos das características de produção e qualidade dos ovos nas linhagens experimentais de galinhas caipiras.

3.2. Material e Métodos

3.2.1. Animais e dados

Foram utilizadas informações referentes a 742 aves de oito linhagens experimentais de frango caipira (CEUA nº 2018.5.393.11.4) pertencentes ao Departamento de Zootecnia da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo (ESALQ/USP), em Piracicaba (SP), que foram desenvolvidas pelo Departamento de Genética da ESALQ/USP desde 1997 no projeto "Frango Feliz" e descritas a seguir:

- Caipirão da Esalq: ave de corte, de crescimento rápido e fenótipos variados para cor de plumagem, apresentando, em média, peso vivo de 3,28 kg, conversão alimentar de 2,82, e 72,66% de rendimento de carcaça aos 84 dias (Coelho et al., 2008; Savino et al., 2007) (Figura 7);

Figura 7. Caipirão da Esalq macho e fêmea

- 7P (Pinto Preto Pesado de Pasto de Pescoço Pelado de Piracicaba): ave de corte, de crescimento rápido, cor de plumagem preta e apresentando o gene do pescoço pelado (Na). Apresenta em média 3,19 kg de peso vivo, 2,66 de conversão alimentar e 73,24% de rendimento de carcaça aos 84 dias (Savino et al., 2007) (Figura 8);

Figura 8. 7P macho e fêmea

- Caipirinha da Esalq: ave de dupla aptidão (corte e postura), de crescimento lento e fenótipos variados para cor de plumagem, apresentando o gene que confere topete (Cr) e o gene do pescoço pelado (Na). Possui produção de até 240 ovos por ciclo e, em média, pesa 2,42 kg, com conversão alimentar de 2,66, e 70,25% de rendimento de carcaça aos 84 dias (Coelho et al., 2008; Savino et al., 2007) (Figura 9);

Figura 9. Caipirinha da Esalq macho e fêmea

- Carijó Barbada: ave de dupla aptidão (corte e postura), de crescimento lento e plumagem do tipo barrada, apresentando o gene que confere barba e costeleta (Mb). Apresenta, em média, peso vivo de 2,20 kg, conversão alimentar de 2,69, e 69,60% de rendimento de carcaça

aos 84 dias, com produção de ovos de até 240 ovos por ciclo de produção (Coelho et al., 2008) (Figura 10);

Figura 10. Carijó Barbada macho e fêmea

- Azul: ave de postura, de crescimento lento e cor de plumagem variada, com postura de ovos azuis (Figura 11);

Figura 11. Azul macho e fêmea

- Pernalonga: ave selecionada para características ornamentais visando animal longilíneo através de fixação de genes quantitativos para tamanho de canela (Coelho et al., 2008) (Figura 12);

Figura 12. Pernalonga macho e fêmea

- Baianinha: ave selecionada para características ornamentais como cor e tipo de plumagem (genes frizzing ou arrepiado, gene rumplessness ou sem rabo, gene neck naked ou pescoço pelado, genes que conferem canela verde, pena nos pés, topete e barba) e produzem ovos azuis ou esverdeados (Coelho et al., 2008) (Figura 13);

Figura 13. Baianinha macho e fêmea

- SooHo: ave que apresenta plumagem preta e pigmentação escura na pele, crista, barbela, bico e patas pretas (Figura 14).

Figura 14. SooHo macho e fêmea

O aviário onde as aves estão alojadas pertencia anteriormente ao Departamento de Genética da ESALQ/USP e foi transferido para o Departamento de Zootecnia em 2017, não

existindo histórico e pedigree dos progenitores dos animais utilizados neste projeto. O grupo de parentais está descrito na Tabela 1.

Tabela 1. Número de progenitores por linhagem

Linhagem	Progenitores	Progenitoras	Total de aves
7P	11	24	35
Azul	18	58	76
Baianinha	24	45	69
Caipirão	37	80	117
Caipirinha	26	59	85
Carijó Barbado	8	17	25
Perna Longa	16	24	40
SooHo	4	19	23
Total	144	326	470

As aves foram identificadas e alojadas em gaiolas individuais. O acasalamento dos animais foi realizado por meio de inseminação artificial, de forma a permitir o controle adequado dos acasalamentos para escrituração do pedigree, na proporção aproximada de um macho para quatro fêmeas. As fêmeas foram inseminadas duas vezes por semana e os ovos foram identificados com informação da linhagem e dos parentais.

Os ovos foram incubados por 21 dias em incubadoras industriais pertencentes ao Departamento de Zootecnia da ESALQ/USP. A incubação foi feita em três diferentes períodos e os nascimentos ocorreram nos dias 30/06, 07/07 e 31/07/2017. Ao nascimento, as aves foram identificadas por meio de uma anilha numerada inserida na pele da asa, para associação com as diversas informações a respeito da ave (Figura 15).

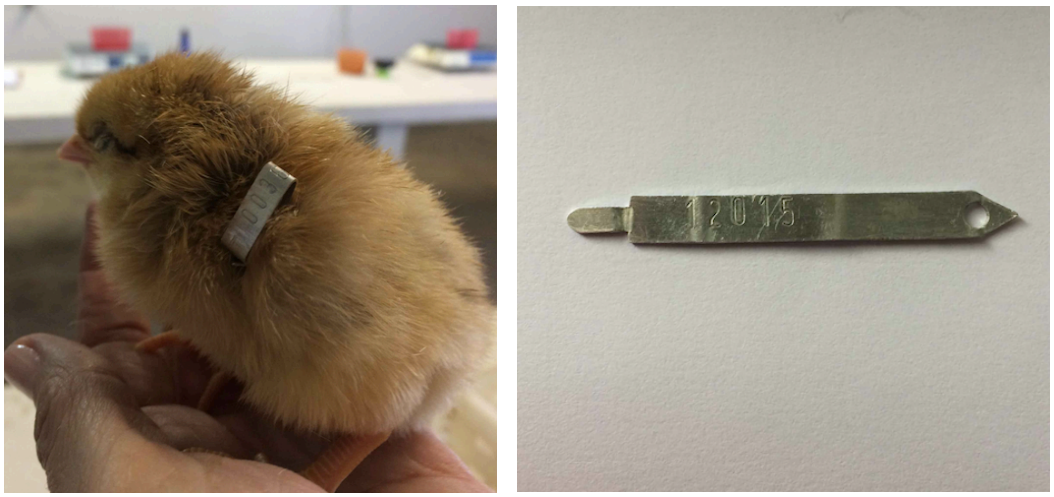

Figura 15. Anilha

Os pintos não sexados foram vacinados contra Marek, Bouba, Gumboro e Newcastle e alojados aleatoriamente em boxes de 3 m^2, contendo de 30 a 50 aves por box, separados por linhagem, onde receberam ração comercial para crescimento. Aos 42 dias de idade as aves foram transferidas para um galpão com acesso à uma área externa de pastagem, separadas por lote de nascimento. Todas as aves foram pesadas aos 7, 21 e 42 dias, sendo que as aves dos lotes 1 e 3 foram novamente pesadas aos 84 dias e as aves do lote 2 tiveram outra pesagem aos 77 dias.

Após a última pesagem as aves foram sexadas, selecionadas e transferidas para gaiolas individuais, sem controle de temperatura e com programa de luz. Todas as gaiolas dispunham de comedouro tipo calha e bebedouro tipo *nipple*, sendo oferecida ração para pré-postura.

A seleção das aves foi feita com base no peso médio e de forma que fossem selecionados entre 3 e 5 meios-irmãos paternos. Também foram considerados alguns aspectos fenotípicos de cada linhagem. Para a linhagem Carijó Barbado foram selecionadas aves que apresentavam plumagem barrada, barba e costeleta. As aves da linhagem SooHo apresentavam plumagem preta, crista, bico, patas e cloaca escuras. O padrão fenotípico das aves selecionadas para linhagem 7P foi plumagem negra e preferencialmente pescoço pelado. Para a linhagem Perna Longa foram selecionadas aves que apresentavam pernas mais longas e plumagem variada. Não foi feita seleção baseada na plumagem nas linhagens Baianinha, Caipirão, Caipirinha e Azul, sendo que nesta última, uma nova seleção deve ser feita após o início da postura visando selecionar apenas as aves que produzam ovos de cor azul ou esverdeada.

Após o início do período de postura os ovos eram coletados diariamente, preferencialmente às 8 horas da manhã, sendo anotada a postura na ficha individual de cada galinha, identificada pelo número da anilha, e a produção era totalizada a cada semana. Foram obtidas

informações da idade à primeira postura e da produção semanal de ovos de 732 aves, filhas de 144 galos e 326 galinhas.

3.2.2. Avaliação dos ovos

Mensalmente, de dezembro de 2017 a abril de 2018, os ovos coletados ao longo de três dias dentro da mesma semana eram analisados no laboratório do Instituto de Zootecnia em Nova Odessa/SP, com a utilização do equipamento Digital Egg Tester DET 6000, da Nabel (Figura 16). Os ovos eram coletados preferencialmente no período da manhã e analisados no mesmo dia à tarde. Os ovos cuja postura ocorrera no período da tarde eram coletados ao final do dia e armazenados em local refrigerado para análise no dia seguinte. As características avaliadas foram: peso do ovo (PO), cor da gema (CG), altura do albúmen (AA), Unidades Haugh (HU), resistência da casca (RC), espessura da casca (EC), peso da gema (PG) e peso da casca (PC). Foram analisados um total de 2222 ovos de 709 galinhas, filhas de 144 galos e 321 galinhas.

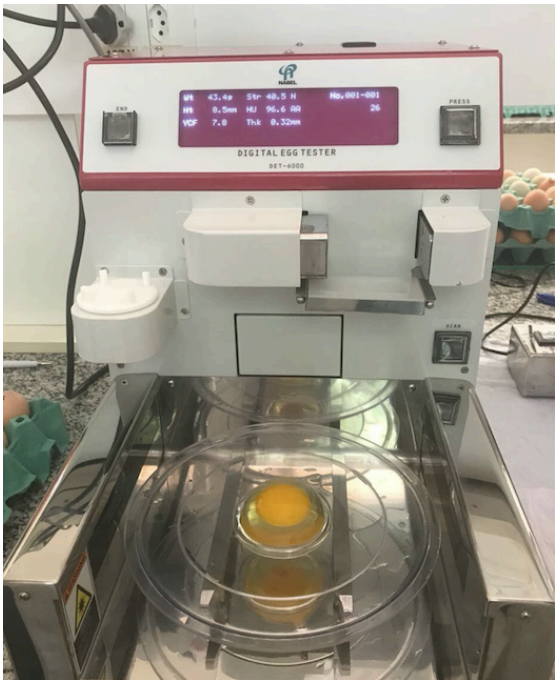

Figura 16. Digital Egg Tester DET 6000, da Nabel

Após as análises dos ovos, os dados foram processados com a utilização do software Statistical Analyses System (SAS), para remoção de *outliers*. Foram removidos valores repetidos de mensuração ou inconsistentes, bem como as informações das aves que não haviam iniciado a postura até a 45ª semana e daquelas com data de nascimento, lote ou box desconhecidos. Com relação aos dados de qualidade dos ovos, foram excluídas as informações dos ovos que continham

duas gemas, ocorrência verificada apenas na primeira avaliação dos ovos realizada em dezembro de 2017. O ovo de duas gemas é considerado um defeito interno do ovo pois dificulta o processamento e a embalagem, e é mais comumente encontrado no início de produção das poedeiras (Oliveira e Oliveira, 2013).

Os grupos de contemporâneas (GC) foram formados considerando lote de nascimento e box, de forma que foram obtidos 93 grupos contendo de 1 a 29 indivíduos. Os animais pertencentes ao GC com menos de quatro indivíduos tiveram suas informações excluídas da base de dados. Ao final da exclusão restaram 2030 ovos avaliados, oriundos de 645 aves, filhas de 142 galos e 312 galinhas, e pertencentes a 70 GC. Para as características de produção total de ovos (PROD) e idade à primeira postura (IPP) restaram informações de 662 aves. O número final de animais avaliados por linhagem está apresentado nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 2. Número de animais avaliados por linhagem (PROD e IPP)

Linhagem	Animais avaliados
7P	27
Azul	242
Baianinha	81
Caipirão	108
Caipirinha	106
Carijó Barbado	18
Perna Longa	48
SooHo	32
Total	662

Tabela 3. Número de animais e ovos avaliados por linhagem para características de qualidade dos ovos.

Linhagem	Animais avaliados	Ovos avaliados
7P	26	82
Azul	239	837
Baianinha	78	205
Caipirão	103	245
Caipirinha	105	386
Carijó Barbado	18	58
Perna Longa	46	148
SooHo	30	69
Total	645	2030

3.2.3. Estimação dos componentes de variância

Os componentes de variância foram estimados utilizando o seguinte modelo:

$$\mathbf{y} = \mathbf{X\beta} + \mathbf{Za} + \mathbf{Sc} + \boldsymbol{\varepsilon}$$

em que $\mathbf{y}$ é o vetor de observações fenotípicas; $\mathbf{X}$ é a matriz de incidência dos efeitos fixos; $\boldsymbol{\beta}$ é o vetor de efeitos fixos; $\mathbf{Z}$ é a matriz de incidência dos efeitos aleatórios aditivos genéticos; $\mathbf{a}$ é o vetor de efeitos aditivos genéticos, com $\mathbf{a} \sim N(\mathbf{0}, \mathbf{I}\sigma_a^2)$; $\mathbf{S}$ é a matriz de incidência dos efeitos

aleatórios de ambiente permanente; **c** é o vetor dos efeitos de ambiente permanente; e **ε** é o vetor de efeitos residuais, com $\boldsymbol{\varepsilon} \sim NID(\mathbf{0}, \mathbf{I}\sigma^2)$. O vetor **β** incluiu os efeitos de grupo de contemporâneas, linhagem, corredor de localização da gaiola e como covariável o efeito da idade da galinha em semanas. O modelo para idade à primeira postura e para produção total de ovos até a 45ª semana não considerou o efeito de ambiente permanente.

A variância fenotípica foi obtida pela soma da variância genética aditiva, variância devida aos efeitos de ambiente permanente e variância residual. O coeficiente de herdabilidade (h^2) foi calculado como a razão entre a variância genética aditiva e a variância fenotípica, enquanto a proporção da variância fenotípica devido aos efeitos de ambiente permanente (c^2) foi determinada como a razão entre a variância de ambiente permanente e a variância fenotípica. Por sua vez, o coeficiente de repetibilidade (r) foi calculado como a razão entre a soma da variância genética aditiva e da variância de ambiente permanente e a variância fenotípica.

Para a estimação dos componentes de covariância foi utilizado o seguinte modelo bivariado:

$$\begin{bmatrix} \boldsymbol{y_1} \\ \boldsymbol{y_2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{X_1} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \boldsymbol{X_2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \boldsymbol{Z_1} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \boldsymbol{Z_2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \boldsymbol{a_1} \\ \boldsymbol{a_2} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \boldsymbol{S_1} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \boldsymbol{S_2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \boldsymbol{c_1} \\ \boldsymbol{c_2} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \end{bmatrix}$$

em que os vetores $\mathbf{y_1}$ e $\mathbf{y_2}$ são referentes às observações da primeira e segunda característica, respectivamente; $\mathbf{X_1}$ e $\mathbf{X_2}$ são as matrizes de delineamento e $\boldsymbol{\beta_1}$ e $\boldsymbol{\beta_2}$ são os vetores de efeitos fixos para a primeira e segunda característica, respectivamente; $\mathbf{Z_1}$ e $\mathbf{Z_2}$ são as matrizes de delineamento e $\mathbf{a_1}$ e $\mathbf{a_2}$ são os vetores dos efeitos aleatórios aditivos genéticos, com $N(\mathbf{0}, \mathbf{G_0} \otimes \mathbf{A}^{-1})$, em que $\mathbf{G_0}$ é a matriz de (co)variâncias entre os efeitos genéticos aditivos; $\mathbf{S_1}$ e $\mathbf{S_2}$ são as matrizes de delineamento dos efeitos aleatórios de ambiente permanente e $\mathbf{c_1}$ e $\mathbf{c_2}$ são os vetores dos efeitos de ambiente permanente, com $\mathbf{c_1}, \mathbf{c_2} \sim N(\mathbf{0}, \mathbf{E_p} \otimes \mathbf{I})$, em que $\mathbf{E_p}$ é a matriz de (co)variâncias entre os efeitos de ambiente permanente; e $\boldsymbol{\varepsilon_1}$ e $\boldsymbol{\varepsilon_2}$ são os vetores de efeitos residuais $N(\mathbf{0}, \mathbf{R} \otimes \mathbf{I})$, sendo **R** a matriz de (co)variâncias entre os efeitos residuais.

As correlações genéticas (r_g) foram obtidas como a razão entre a covariância genética aditiva e a raiz quadrada do produto das variâncias genéticas aditivas de cada característica. As correlações fenotípicas (r_p) foram obtidas como a razão entre a covariância fenotípica (igual à soma entre as covariâncias genética, de ambiente permanente e residual) e a raiz quadrada do produto das variâncias fenotípicas associadas a cada característica.

Na estimação das correlações genéticas e fenotípicas envolvendo a idade à primeira postura (IPP) ou produção de ovos até a 45ª semana de idade (PROD), o efeito permanente de ambiente foi incluído no modelo com o objetivo de forçar a covariância entre os efeitos ambientais dentro da covariância entre os efeitos de ambiente permanente, ao invés de incluí-los na covariância

entre os efeitos residuais quando uma das características foi medida mais de uma vez. Embora esta inclusão seja viável, a interpretação do resultado requer algum cuidado quando uma das características, como IPP ou PROD, não tem medidas repetidas (Okut et al., 1999). Devido ao confundimento entre os efeitos ambientais permanentes e residuais, a variação devida a esses efeitos pode ser atribuída a ambos os componentes de variância, o que também dificulta a interpretação das correlações entre os efeitos ambientais permanentes (Hanford et al., 2003). Dessa forma, a variância ambiental para IPP nesta análise foi calculada como a soma entre os componentes de variância para efeito permanente e efeito residual (Hanford et al., 2003). As correlações genéticas foram calculadas como a razão entre a variância genética e a raiz quadrada do produto entre as variâncias genéticas, enquanto as correlações fenotípicas foram estimadas pela razão entre a variância fenotípica a (obtida pela soma das covariâncias genética e ambiental) e a raiz quadrada do produto entre variâncias fenotípicas de cada característica (obtidas como a soma entre as variâncias genética e ambiental).

As estimativas dos componentes de (co)variância e seus respectivos erros-padrão foram obtidas por meio do método de máxima verossimilhança restrita com o algoritmo AI (average information) utilizando o programa AIREMLF90 (Misztal et al., 2002). Os erros-padrão para a variância aditiva, variância dos efeitos de ambiente permanente e variância residual foram estimados como a raiz quadrada dos elementos da diagonal da inversa da matriz de informação. Para a variância fenotípica, coeficientes de herdabilidade, proporção da variância fenotípica devida aos efeitos de ambiente permanente, correlações genéticas e correlações fenotípicas, como alternativa aos erros-padrão, foram obtidos os desvios-padrão para as estimativas utilizando a abordagem de amostragem repetida proposta por Meyer e Houle (2013).

3.3. Resultados e discussão

As estatísticas descritivas para as características de produção e qualidade dos ovos são apresentadas na Tabela 4. As estimativas de componentes de variância, herdabilidade e repetibilidade para as características avaliadas são apresentadas nas Tabela 5 e as correlações genéticas e fenotípicas são apresentadas na Tabela 6.

Tabela 4. Estatística descritiva para idade à primeira postura (IPP), produção de ovos total até 45ª semana (PROD), peso do ovo (PO), altura do albúmen (AA), cor da gema (CG), Unidades Haugh (HU), resistência da casca (RC), espessura da casca (EC), peso da gema (PG) e peso da casca (PC)*.

Característica	N	Média	Desvio-padrão	Coeficiente de variação	Mínimo	Máximo
IPP	662	172,57	31,27	18,12	125	273
PROD	662	128,23	52,18	40,69	11	243
PO	2030	49,53	5,99	12,09	29,3	74,0
AA	2018	6,64	1,37	20,67	2,5	10,6
CG	2022	7,02	1,06	15,04	4,0	10,4
HU	2018	84,05	8,52	10,14	39,5	103,2
RC	2026	42,83	10,22	23,86	6,2	72,4
EC	2030	0,35	0,04	10,73	0,15	0,56
PG	2019	14,26	2,36	16,57	7,12	21,21
PC	2030	4,91	0,69	14,02	2,15	7,18

* IPP medido em dias, PROD medido em número de ovos, PO, PG e PC medidos em gramas, AA e EC medidos em mm e RC medido em N.

Tabela 5. Componentes de (co)variâncias, coeficientes de herdabilidade e repetibilidade[1] (erro-padrão) estimados para idade à primeira postura (IPP), produção de ovos total até 45ª semana (PROD), peso do ovo (PO), altura do albúmen (AA), cor da gema (CG), Unidades Haugh (HU), resistência da casca (RC), espessura da casca (EC), peso da gema (PG) e peso da casca (PC)[2].

Característica	σ_a^2	σ_{pe}^2	σ_e^2	σ_p^2	h^2	c^2	r
IPP	228,37		469,48	697,85	0,33		
	(85,129)		(75,124)	(43,241)	(0,116)		
PROD	163,31		507,41	670,72	0,24		
	(71,669)		(68,238)	(41,198)	(0,104)		
PO	5,81	7,45	8,62	21,87	0,27	0,34	0,61
	(1.856)	(1,638)	(0,329)	(1,064)	(0,080)	(0,076)	(0,076)
AA	0,45	0,00	1,35	1,80	0,25	0,00	0,25
	(0,061)	(0,000)	(0,050)	(0,068)	(0,028)	(0,000)	(0,028)
CG	0,03	0,00	0,97	0,99	0,03	0,00	0,03
	(0,017)	(0,000)	(0,034)	(0,032)	(0,017)	(0,000)	(0,017)
HU	13,22	0,00	55,21	68,43	0,19	0,00	0,19
	(2.108)	(0,000)	(2,047)	(2,465)	(0,027)	(0,000)	(0,027)
RC	11,25	13,06	75,90	100,21	0,11	0,13	0,24
	(5,273)	(5,146)	(2,878)	(3,668)	(0,051)	(0,051)	(0,027)
EC	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	0,22	0,34
	(0,000)	(0,000)	(0,000)	(0,000)	(0,057)	(0,056)	(0,027)
PG	0,15	0,61	1,41	2,17	0,07	0,28	0,35
	(0,106)	(0,117)	(0,054)	(0,084)	(0,048)	(0,052)	(0,027)
PC	0,06	0,10	0,18	0,34	0,18	0,30	0,48
	(0,023)	(0,022)	(0,007)	(0,015)	(0,066)	(0,064)	(0,026)

[1]σ_a^2 = variância genética aditiva; σ_{pe}^2 = variância permanente de ambiente; σ_e^2 = variância residual; σ_p^2 = variância fenotípica; h^2 = coeficiente de herdabilidade; c^2 = proporção da variância fenotípica devida ao efeito de ambiente permanente; r = coeficiente de repetibilidade

[2]Variâncias associadas à IPP medidas em dias^2; PROD medida em número de ovos ao quadrado; PO, PG e PC medidas em g^2; AA e EC medidas em mm^2 e RC medida em N^2

IPP apresentou o maior coeficiente de herdabilidade, estimado em 0,33. Herdabilidades altas também foram estimadas para PROD, PO, AA e HU, com valores de 0,24, 0,27, 0,25 e 0,19, respectivamente. As características relacionadas à gema, CG e PG, apresentaram as menores herdabilidades, com valores estimados em 0,03 e 0,07, respectivamente. As demais características relacionadas à casca do ovo, apresentaram herdabilidade baixa a moderada, variando entre 0,11 e 0,18. No geral os coeficientes de herdabilidade foram menores que os estimados por Blanco et al.

(2014), Besbes et al. (1992), Dunn et al. (2005), Francesch et al. (1997), Hartmann et al. (2003), Ledur et al. (2002), Lwelamira et al. (2009), Niknafs et al. (2012), Nurgiartiningsih et al. (2004), Nurgiartiningsih et al. (2002), Wolc et al. (2012), Wolc et al. (2007) e Zhang et al. (2005), provavelmente devido às diferenças entre linhagens, à metodologia utilizada e a fatores associados ao manejo e ambiente. Este estudo avaliou características produtivas e de qualidade de ovos de galinhas caipiras criadas em condições tropicais, quando a maioria dos trabalhos utiliza linhagens comerciais, o que pode explicar parte das diferenças encontradas.

O efeito permanente de ambiente foi mais importante para PO, PC e PG, representando mais de 28% da variância fenotípica, e foi insignificante para AA, CG e HU.

O coeficiente de herdabilidade estimado para IPP foi 0,33, semelhante ao valor de 0,36 estimado por Niknafs et al. (2012) em galinhas de uma linhagem alternativa do Irã. No entanto, Wolc et al. (2012) estimaram herdabilidade de 0,55 em linhagens puras de poedeiras de ovos marrons e Lwelamira et al. (2009) avaliaram duas linhagens experimentais de galinhas, estimando herdabilidades de 0,45 e 0,52 para cada uma das linhagens.

A produção total de ovos até a 45ª semana apresentou um coeficiente de herdabilidade estimado de 0,27. Estudos anteriores estimaram valores para herdabilidade da produção de ovos entre 0,03 e 0,44 (Besbes et al., 1992; Dunn et al., 2005; Francesch et al., 1997; Ledur et al., 1993; Lwelamira et al., 2009; Niknafs et al., 2012; Nurgiartiningsih et al., 2004; Nurgiartiningsih et al., 2002; Wolc et al., 2012). Esta amplitude de variação pode ser devido aos diferentes métodos de estimação dos parâmetros, às diferenças existentes entre populações e gerações, e também devido à estrutura das populações utilizadas para a análise (Ledur et al., 1993). Mas também pode ser explicada por diferenças entre os períodos de produção avaliados, já que estudos sugerem que a expressão gênica varia com a idade (Ledur et al., 2002; Wolc et al., 2007). A produção de ovos é geralmente registrada como uma medida única, ou seja, produção de ovos desde o início da postura até uma determinada idade ou entre duas idades específicas. Essa abordagem é vantajosa devido à sua simplicidade, no entanto, a medição única da produção de ovos pode não ser suficiente para fornecer uma descrição adequada da característica. Wolc et al. (2007) compararam a estimativa dos coeficientes de herdabilidade da produção em diferentes meses com o da produção acumulada e concluíram que a herdabilidade estimada para os dois primeiros meses de produção foi moderada, em torno de 0,35, e a partir do pico de produção os valores estimados foram inferiores a 0,10. As correlações genéticas entre os registros iniciais e os tardios foram baixas ou negativas, enquanto a partir do pico de produção os períodos são altamente correlacionados. Estes resultados sugerem que a medição única da produção de ovos acumulada pode não ser suficiente para fornecer uma

descrição adequada da característica e impossibilitar a comparação das avaliações realizadas em períodos diferentes (Wolc et al., 2007).

O coeficiente de herdabilidade estimado para PO foi 0,27, menor que os valores estimados por Besbes et al. (1992), Blanco et al. (2014), Dunn et al. (2005), Flock et al., (2007), Francesch et al. (1997), Hartmann et al. (2003), Ledur et al. (2002), Lwelamira et al. (2009), Niknafs et al. (2012); Nurgiartiningsih et al. (2004), Nurgiartiningsih et al. (2002), Wolc et al. (2012) e Zhang et al. (2005), que variaram de 0,39 a 0,74. Estes estudos sugerem que PO apresenta alta herdabilidade, indicando a existência de uma maior variabilidade genética e sugerindo que a seleção genética pode ser utilizada para aumento do peso do ovo e melhor adequação às exigências do mercado. Estudos anteriores também sugerem que o PO aumenta com a idade (Blanco et al., 2014; Ledur et al., 2002) e a estimativa da herdabilidade parece diminuir conforme a galinha se torna mais velha (Ledur et al., 2002). Além disso, Niknafs et al. (2012) estimaram correlação genética alta entre o peso do primeiro ovo e as medidas subsequentes de peso do ovo. Dessa forma, a seleção genética para peso do ovo pode ser feita precocemente, com base nas avaliações realizadas no início do ciclo de postura.

O coeficiente de herdabilidade estimado para AA foi 0,25, semelhante ao estimado em poedeiras de ovos brancos por Blanco et al. (2014) e por Ledur et al. (2002), que estimaram valores entre 0,28 e 0,32. No entanto, valores maiores, entre 0,41 e 0,69, foram estimados em poedeiras de ovos marrons por Blanco et al. (2014), Wolc et al. (2012) e Zhang et al. (2005). Já Flock et al. (2007) estimaram valores entre 0,20 e 0,30 para o coeficiente de herdabilidade para AA.

O mesmo comportamento foi observado para HU, cujo coeficiente de herdabilidade foi estimado em 0,19, semelhante ao estimado por Ledur et al. (2002) que variou entre 0,12 a 0,19. No entanto, Zhang et al. (2005) estimaram herdabilidade de 0,51 para HU.

A altura do albúmen é um importante indicador da frescura do ovo, muitas vezes convertida em unidades Haugh para permitir a comparação de ovos com diferentes pesos. Mas a qualidade do armazenamento dos ovos após a postura pode interferir nesta medida, fazendo com que ovos mais antigos e melhor armazenados pareçam ser mais frescos do que ovos armazenados inadequadamente. Embora a herdabilidade moderada de AA e HU permita a melhoria por seleção, o melhoramento genético pode não apresentar bons resultados se o armazenamento durante a comercialização for inadequado (Flock et al., 2007). Da mesma forma que para o PO, os coeficientes de herdabilidade para AA e HU aumentam com a idade da galinha, sugerindo que a seleção para estas características também deva ser feita com base nas avaliações realizadas no início do ciclo de postura (Ledur et al., 2002).

Estudos anteriores estimaram valores entre 0,17 e 0,38 para o coeficiente de herdabilidade de RC (Blanco et al., 2014; Dunn et al., 2005; Flock et al., 2007; Zhang et al., 2005), maiores que o valor de 0,11 estimado neste trabalho. O mesmo comportamento foi observado para EC, cujo coeficiente de herdabilidade foi estimado em 0,13, menor que as estimativas anteriores que variaram entre 0,27 e 0,61 (Blanco et al., 2014; Lwelamira et al., 2009; Zhang et al., 2005). A herdabilidade do peso da casca foi estimada em 0,18, também menor do que o estimado por Zhang et al. (2005) que foi de 0,64. Estas três características são utilizadas como indicadores da estabilidade da casca, embora a resistência da casca seja a característica mais estudada.

Os coeficientes de herdabilidade estimados para PG e CG foram 0,07 e 0,03, respectivamente. Hartmann et al. (2003), Wolc et al. (2012) e Zhang et al. (2005) estimaram valores de 0,43, 0,37 e 0,45, respectivamente, para herdabilidade do PG, maiores do que o estimado neste estudo. A baixa herdabilidade estimada para CG pode ser explicada pela grande influência da alimentação das aves nesta característica, uma vez que a intensidade da cor da gema do ovo deriva principalmente da deposição de oxi-carotenóides oriundos da alimentação (Flock et al., 2007; Oliveira e Oliveira, 2013).

Tabela 6. Correlações genéticas (acima da diagonal) e fenotípicas (abaixo da diagonal) e seus respectivos erros-padrão (entre parênteses) entre as características de idade à primeira postura (IPP), produção de ovos total até 45ª semana de idade (PROD), peso do ovo (PO), altura do albúmen (AA), cor da gema (CG), Unidades Haugh (HU), resistência da casca (RC), espessura da casca (EC), peso da gema (PG) e peso da casca (PC).

	IPP	PROD	PO	AA	CG	HU	RC	EC	PG	PC
IPP		-0,67	0,14	0,36	0,04	0,39	0,09	0,22	-0,11	0,26
		(0,277)	(0,320)	(0,081)	(0,030)	(0,025)	(0,504)	(0,389)	(0,650)	(0,050)
PROD	-0,56		-0,42	-0,40	-0,26	-0,34	-0,16	-0,41	-0,05	-0,48
	(0,030)		(0,093)	(0,082)	(0,097)	(0,275)	(0,210)	(0,051)	(0,260)	(0,056)
PO	0,20	-0,20		0,89	0,37	0,70	-0,01	0,13	0,46	0,77
	(0,038)	(0,026)		(0,006)	(0,025)	(0,135)	(0,385)	(0,398)	(0,469)	(0,242)
AA	0,14	-0,12	0,42		-0,16	0,99	0,00	0,33	0,08	0,72
	(0,025)	(0,023)	(0,013)		(0,388)	(0,008)	(0,181)	(0,059)	(0,341)	(0,214)
CG	0,01	-0,05	-0,06	0,03		-0,23	0,41	0,48	0,55	0,32
	(0,003)	(0,008)	(0,014)	(0,024)		(0,028)	(0,025)	(3,484)	(0,021)	(0,520)
HU	0,11	-0,10	0,23	0,97	0,03		-0,01	0,22	-0,06	0,59
	(0,008)	(0,030)	(0,026)	(0,002)	(0,020)		(0,327)	(0,106)	(0,674)	(0,285)
RC	-0,01	0,02	0,06	0,02	0,00	0,01		0,36	0,04	0,53
	(0,033)	(0,029)	(0,029)	(0,026)	(0,019)	(0,025)		(0,674)	(1,489)	(0,414)
EC	0,06	-0,06	0,23	0,04	0,01	0,01	0,54		0,18	0,69
	(0,035)	(0,009)	(0,028)	(0,020)	(0,023)	(0,023)	(0,019)		(0,940)	(0,354)
PG	0,04	0,00	0,64	0,16	-0,15	0,04	0,05	0,12		0,48
	(0,035)	(0,027)	(0,018)	(0,026)	(0,017)	(0,026)	(0,026)	(0,027)		(0,613)
PC	0,10	-0,11	0,66	0,25	-0,01	0,13	0,50	0,75	0,40	
	(0,017)	(0,015)	(0,017)	(0,026)	(0,023)	(0,026)	(0,021)	(0,012)	(0,024)	

A correlação genética entre IPP e PROD foi estimada em -0,67, indicando que a as aves que atingem a maturidade sexual mais cedo tendem a produzir uma quantidade maior de ovos. Esta relação antagônica também foi relatada em estudos anteriores, nos quais foram estimados valores

mais baixos, variando entre -0,09 e -0,41 (Lwelamira et al., 2009; Niknafs et al., 2012; Wolc et al., 2012). No entanto, a correlação genética positiva entre IPP e PO, estimada em 0,14, sugere que a precocidade na maturidade sexual pode levar à uma redução no peso do ovo. Embora esta correlação não tenha sido alta, o peso do ovo é uma característica econômica importante para o produtor, tendo em vista que o tamanho do ovo influencia o preço final do produto. Estudos anteriores estimaram valores entre 0,20 e 0,51 para a correlação genética entre IPP e PO, confirmando esta tendência (Lwelamira et al., 2009; Niknafs et al., 2012; Wolc et al., 2012). Dessa forma, a maturidade sexual tardia pode reduzir a quantidade de ovos produzidos, mas também está associada a um aumento no peso dos ovos.

A produção de ovos é a principal característica avaliada nos programas de melhoramento genético de poedeiras, no entanto as correlações genéticas sugerem uma relação antagônica entre produção de ovos e as demais características de qualidade dos ovos. A correlação genética entre PROD e PO foi estimada em -0,42. Estudos anteriores estimaram valores entre -0,08 e -0,59, confirmando o antagonismo entre estas duas características (Besbes et al., 1992; Francesch et al., 1997; Ledur et al., 1993; Lwelamira et al., 2009; Niknafs et al., 2012; Nurgiartiningsih et al., 2004; Nurgiartiningsih et al., 2002 e Wolc et al., 2012). Correlações genéticas antagônicas com PROD também foram estimadas para PC, EC, AA e HU, com valores variando entre -0,48 e -0,41. A seleção genética baseada somente na produção de ovos pode levar a uma redução indesejada em outras características economicamente importantes, o que não é desejável.

O peso do ovo, outro importante critério de seleção, foi positivamente correlacionado com AA, HU, PC e PG, similar ao estimado por Blanco et al. (2014), Wolc et al. (2012) e Zhang et al. (2005). As correlações genéticas entre PO e AA, HU, PG e PC foram estimadas em 0,89, 0,70, 0,46 e 0,77, respectivamente. Para PO e RC, a correlação genética estimada foi próxima de zero, sugerindo que o tamanho do ovo não está relacionado com a resistência da casca. Este resultado também foi observado por Blanco et al. (2014) e Zhang et al. (2005). A correlação genética entre PO e EC foi baixa e estimada em 0,13, sugerindo uma tendência de que ovos mais pesados possuem casca mais grossa, similar ao relatado por Zhang et al. (2005). Baixas correlações entre PO e EC também foram relatadas por Blanco et al. (2014) e Lwelamira et al. (2009). De Ketelaere et al. (2002) avaliaram que o peso do ovo não está relacionado à resistência da casca e que existe uma correlação muito pequena entre o peso do ovo e a espessura da casca, de forma que os ovos mais pesados tendem a apresentar casca mais espessa, o que é confirmado neste estudo.

As características relacionadas com a estabilidade da casca são positivamente relacionadas entre si, similar ao relatado por Blanco et al. (2014) e Zhang et al. (2005). Os valores estimados para as correlações genéticas entre RC e EC e entre RC e PC foram 0,36 e 0,53, respectivamente.

A correlação entre EC e PC foi mais alta e estimada em 0,69. A resistência da casca, importante característica de qualidade da casca, tem pouca correlação com as demais características de qualidade interna do ovo, diferentemente de EC e PC que apresentam correlações moderadas a altas com estas características. Diferentemente de EC e PC, RC não depende majoritariamente da quantidade de cálcio depositada na casca, mas também de como a casca foi construída e da sua estrutura.

3.4. Conclusões

A estimativa dos parâmetros genéticos das características de produção e qualidade dos ovos demonstra a existência de variação genética, indicando a possibilidade de ganho genético por meio da seleção dos melhores reprodutores. As características que apresentaram maiores coeficientes de herdabilidade foram a idade à primeira postura, peso do ovo, altura do albúmen e produção de ovos acumulados até a 45ª semana de idade. No entanto, o relacionamento antagônico entre produção de ovos e as diversas características de qualidade do ovo confirma a necessidade de avaliação conjunta destas características considerando o impacto econômico de cada uma delas e as correlações fenotípicas e genéticas entre elas. Para isso, a utilização do índice de seleção é uma alternativa, pois permite o progresso genético simultâneo nessas características considerando as correlações genéticas e relevância econômica das mesmas.

No geral, as estimativas dos coeficientes de herdabilidade obtidas neste estudo foram menores comparativamente aos resultados apresentados em outros trabalhos similares, embora a maioria desses trabalhos tenha avaliado as características produtivas e de qualidade de ovos de galinhas de linhagens comerciais. Este estudo avaliou estas características em galinhas caipiras criadas em condições tropicais, sendo de grande importância para a avicultura brasileira.

Embora a redução na idade à primeira postura esteja altamente correlacionada com o aumento na produção de ovos, seu relacionamento antagônico com as diversas características de qualidade dos ovos indica a necessidade de avaliação quanto à melhor estratégia para direcionamento dos programas de melhoramento genético de poedeiras de forma a maximizar o lucro dos avicultores.

REFERÊNCIAS

Besbes B, Ducrocq V, Foulley JL, Protais M, Tavernier A, Tixier-Boichard M, Beaumont C (1992) Estimation of genetic parameters of egg production traits of laying hens by restricted maximum likelihood applied to a multiple-trait reduced animal model. Genetics Selection Evolution 24: 539–552.

Blanco AE, Icken W, Ould-Ali D, Cavero D, Schmutz M (2014) Genetic parameters of egg quality traits on different pedigree layers with special focus on dynamic stiffness. Poultry Science 93: 2457–2463.

De Ketelaere B, Govaerts T, Coucke P, Dewil E, Visscher J, Decuypere E, De Baerdemaeker J (2002) Measuring the eggshell strength of 6 different genetic strains of laying hens: Techniques and comparisons. British Poultry Science 43: 238–244.

Dunn LC, Bain M, Edmond A, Wilson PW, Joseph N, Solomon S, De Ketelaere B, De Baerdemaeker J, Schmutz M, Preisinger R, Waddington D (2005) Heritability and genetic correlation of measurements derived from acoustic resonance frequency analysis; a novel method of determining eggshell quality in domestic hens. British Poultry Science 46 (3): 280–286.

Flock DK, Schmutz M, Preisinger R (2007) Optimierung der Eiqualität aus züchterischer Sicht. Züchtungskunde 79 (4): 309-319.

Francesch A, Estany J, Alfonso L, Iglesias M (1997) Genetic parameters for egg number, egg weight, and eggshell color in three catalan poultry breeds. Poultry Science 76: 1627–1631.

Hanford KJ, Van Vleck LD, Snowder GD (2003) Estimates of genetic parameters and genetic change for reproduction, weight, and wool characteristics of Targhee sheep. Journal of Animal Science 81: 630–640

Hartmann C, Johansson K, Strandberg E, Rydhmer L (2003) Genetic correlations between the maternal genetic effect on chick weight and the direct genetic effects on egg composition traits in a White Leghorn line. Poultry Science 82: 1-8.

Meyer K, Houle D (2013) Sampling based approximation of confidence intervals for functions of genetic covariance matrices. In: Association for the Advancement of Animal Breeding and Genetics Conference, 20., Napier. Proceedings... Napier: AAABG, 2013. p. 523–526.

Misztal I, Tsuruta S, Strabel T, Auvray B, Druet T, Lee DH (2002) BLUPF90 and related programs (BGF90). In: 7th World Congress on Genetics applied to Livestock Production, Montpellier. Proceedings... Montpellier: WCGALP, 2002. Disponível em: < http://nce.ads.uga.edu/wiki/lib/exe/fetch.php?media=28-07.pdf>. Acesso em: 28 fev. 2019.

Ledur MC, Schmidt GS, Figueiredo EAP, Avila VS, Balen L (1993) Parâmetros genéticos e fenotípicos para características produtivas em linhagens de poedeiras de ovos brancos. Pesquisa Agropecuária Brasileira 28 (9): 1031-1037.

Ledur MC, Liljedahl LE, McMillan I, Asselstine L, Fairfull RW (2002) Genetic effects of aging on egg quality traits in the first laying cycle of White Leghorn strains and strain crosses. Poultry Science 81: 1439-1447.

Lwelamira J, Kifaro GC, Gwakisa PS (2009) Genetic parameters for body weights, egg traits and antibody response against Newcastle Disease Virus (NDV) vaccine among two Tanzania chicken ecotypes. Tropical Animal Health and Production 41: 51-59.

Niknafs S, Nejati-Javaremi A, Mehrabani H, Fatemi SA (2012) Estimation of genetic parameters for body weight and egg production traits in Mazandaran native chicken. Tropical Animal Health and Production 44: 1437–1443.

Nurgiartiningsih V, Mielenz N, Preisinger R, Schmutz M, Schüler L (2002) Genetic parameters for egg production and egg weight of laying hens housed in single and group cages. Archiv fur Tierzucht 45(5): 501-508.

Nurgiartiningsih V, Mielenz N, Preisinger R, Schmutz M, Schüler L (2004) Estimation of genetic parameters based on individual and group mean records in laying hens. British Poultry Science 45(5): 604–610.

Okut H, Bromley CM, Van Vleck LD, Snowder GD (1999) Genotypic expression at different ages: I. Prolificacy traits of sheep. Journal of Animal Science 77: 2357–2365.

Oliveira BL, Oliveira DD (2013) Qualidade e tecnologia de ovos. UFLA 224 p.

Savino VJM, Coelho AAD, Rosário MF, Silva MAN (2007) Avaliação de materiais genéticos visando à produção de frango caipira em diferentes sistemas de alimentação. Revista Brasileira de Zootecnia 36 (3): 578-583.

Wolc A, Lisowski M, Szwaczkowski T (2007) Heritability of egg production in laying hens under cumulative, multitrait and repeated measurement animal models. Czech Journal of Animal Science 52 (8): 254–259.

Wolc A, Arango J, Settar P, O'Sullivan NP, Olori VE, White IMS, Hill WG, Dekkers JCM (2012) Genetic parameters of egg defects and egg quality in layer chickens. Poultry Science 91: 1292–1298.

Zhang LC, Ning ZH, Xu GY, Hou ZC, Yang N (2005) Heritabilities and genetic and phenotypic correlations of egg quality traits in brown-egg dwarf layers. Poultry Science 84:1209-1213.

4. PARÂMETROS GENÉTICOS PARA COR DA CASCA DO OVO E CORRELAÇÕES GENÉTICAS E FENOTÍPICAS ENTRE COR DA CASCA E CARACTERÍSTICAS DE PRODUÇÃO E QUALIDADE DOS OVOS

Resumo

A cor da casca tem uma influência importante na preferência do consumidor, sendo um importante parâmetro de qualidade econômica. A estimação dos parâmetros genéticos para a cor da casca, bem como sua relação com as outras características de qualidade dos ovos, é necessária para direcionar uma seleção que objetive melhor aparência dos ovos. Dessa forma, o objetivo desse trabalho foi estimar os parâmetros genéticos para a cor da casca, bem como as correlações genéticas e fenotípicas entre a cor da casca e as demais características de produção e qualidade dos ovos. Foram utilizadas as medidas das coordenadas L*, a* e b*, do espaço de cor CIELab, de 1132 ovos. Também foram obtidas informações de peso do ovo (PO), altura do albúmen (AA), cor da gema (CG), unidades Haugh (HU), resistência da casca (RC), espessura da casca (EC), peso da gema (PG) e peso da casca (PC) de 2030 ovos. Os componentes de variância foram obtidos utilizando a metodologia de máxima verossimilhança restrita sob modelo misto animal. Os coeficientes de herdabilidade estimados para as coordenadas L*, a*, b* foram moderados a altos, variando entre 0,35 e 0,48. As correlações genéticas entre L* e as coordenadas a* e b* foram altas e negativas, estimadas em -0,90 e -0,64, respectivamente. A correlação genética entre a* e b* foi estimada em 0,65. As correlações genéticas entre a cor da casca e as características de produção foram baixas a moderadas, indicando que a cor da casca exerce pouca ou nenhuma influência sobre a qualidade interna e externa do ovo.

Palavras-chave: Componentes de variância; Cor da casca; Correlação; Galinha caipira; Parâmetros genéticos; Qualidade dos ovos

Abstract

Eggshell color plays a major role on the topic of consumer preference, being an important parameter of economic quality. Estimations of genetic parameters for eggshell color and the correlation between eggshell color and other egg quality traits are necessary to plan a selection program that seeks to achieve better egg appearance. Therefore, the aim of this work was to estimate genetic parameters for eggshell color and genetic and phenotypic correlations between eggshell color and egg quality traits. Color coordinates from CIELab color space L* (brightness), a* (red/green scale) and b* (yellow/blue scale) of 1132 eggs were determined. The components of variance were estimated using the methodology of maximum likelihood restricted under animal mixed model. The estimated coefficients of heritability for the coordinates L*, a*, b* were moderate to high, ranging from 0.35 to 0.48. Genetic correlations between L* and a* and between L* and b* were high and negative, estimated at -0.90 and -0.64, respectively. The genetic correlation between a* and b* was estimated at 0.65. Genetic correlations between shell color and egg quality traits were low to moderate, indicating that the eggshell color has little or no influence on the internal and external egg quality.

Keywords: Genetic parameters; Variance components; Correlation; Egg quality; Eggshell color; Free-range chickens; Laying hens

4.1. Introdução

A cor da casca não interfere no valor nutricional do ovo, mas tem uma influência importante na preferência do consumidor, sendo um importante parâmetro de qualidade econômica (Flock et al., 2007; Wei e Bitgood, 1990). A preferência dos consumidores varia de acordo com o país, em alguns países os consumidores preferem ovos de casca marrom, em outros países os ovos de casca branca têm maior aceitação. Algumas linhagens de galinhas apresentam ovos de casca azul ou esverdeada, como a linhagem chilena Araucano e as linhagens chinesas Dongxiang e Lushi (Wang et al., 2013). No entanto, os consumidores que preferem ovos marrons também prestam atenção na intensidade e uniformidade da cor da casca, rejeitando ovos pálidos e desigualmente coloridos. Dessa forma, uma variabilidade reduzida da cor da casca melhora a apresentação visual e a aceitação dos ovos no momento da venda (Cavero et al., 2012; Goger et al., 2016).

Alguns fatores podem alterar a cor da casca, como o estresse, a idade da galinha, período de postura, linhagem, sistema de alojamento, dieta e certas doenças como a bronquite infecciosa (Aygun, 2014; Samiullah et al., 2015; Wang et al., 2009; Yang et al. 2009). Conforme a galinha envelhece, os ovos se tornam maiores e sua casca fica mais clara devido ao aumento do tamanho do ovo sem que ocorra um aumento proporcional da deposição de pigmentos na superfície da casca (Cavero et al., 2012; Odabasi et al., 2007; Solomon, 1997; Yang et al., 2009). Dessa forma, a mesma quantidade de pigmentos é depositada em uma superfície maior, tornando a casca mais clara. Alguns problemas na pigmentação podem ocorrer devido a alterações no tempo de postura ou a problemas no final da calcificação (Cavero et al., 2012; Solomon, 1997).

A cor da casca é determinada principalmente pela presença do pigmento protoporfirina na casca do ovo, mas também pelo pigmento biliverdina (Kennedy e Vevers, 1973; Lang e Wells, 1987). Os pigmentos têm diferentes picos de absorção e a cor da casca é medida pela luz refletida em três faixas de comprimentos de onda específicos das cores primárias vermelho, verde e azul (De Ketelaere et al., 2004).

A descrição completa de uma cor requer três atributos: luminosidade, tonalidade e saturação (Wei e Bitgood, 1990). O espaço de cor L*a*b*, também conhecido como espaço de cor CIELab, é atualmente o mais utilizado para determinação das cores, e utiliza escalas para avaliação dos atributos, expressando a cor de forma objetiva através de números (Cavero et al., 2012). A medição é feita através de espectrofotômetros e colorímetros, que medem a luz refletida dos objetos em cada comprimento de onda ou em faixas específicas, quantificando os dados espectrais para determinar as coordenadas no espaço de cor L*a*b* e apresenta a informação em termos numéricos. O parâmetro L* indica a luminosidade, com valores variando entre 0 (preto) e 100

(branco). O parâmetro a* indica a tonalidade como uma função de uma escala vermelho/verde, com valores negativos (verde) e positivos (vermelho). Já o parâmetro b* indica a tonalidade como função de uma escala azul/amarelo, também com valores negativos (azul) e positivos (amarelo).

Li et al. (2006) relataram diferença significativa entre os ovos brancos, marrons e azuis ao avaliar cada uma das coordenadas L*, a* e b*. Estudos anteriores indicam que cascas mais escuras apresentam valores menores para a coordenada L*, indicando que esta coordenada poderia ser utilizada para avaliar se a cor da casca é mais clara ou mais escura (Aygun, 2014; Odabasi et al., 2007). Li et al. (2006) avaliaram a cor da casca de ovos marrons, azuis e brancos e observaram que a média dos valores da coordenada a* dos ovos brancos e azuis foram menores que zero, sendo que os valores encontrados para os ovos azuis foram bem menores que os encontrados para os ovos brancos.

Trabalhos anteriores sugeriram que existe correlação entre a cor da casca e algumas características de qualidade dos ovos (Aygun, 2014; Cavero et al., 2012; Francesch et al., 1997; Goger et al., 2016; Ingram et al., 2008; Yang et al., 2009). Yang et al. (2009) concluíram que algumas características de qualidade dos ovos, como a resistência, a espessura, o peso e a ultraestrutura da casca poderiam ser avaliadas através da cor da casca, tendo em vista que esta afetou significativamente as referidas características. A coloração mais escura da casca pode ocorrer devido à maior permanência no útero durante a formação da casca, fazendo com que haja um maior acúmulo de pigmento e maior depósito de cálcio, e consequentemente a casca fica mais espessa, mais forte e mais escura (Yang et al., 2009). Aygun (2014) sugere que o valor da coordenada L* possa ser utilizado como indicador de algumas características de qualidade, como valor da unidade Haugh e resistência da casca.

4.2. Material e Métodos

4.2.1. Animais e dados

Foram utilizadas informações referentes a 651 aves de oito linhagens experimentais de frango caipira (CEUA nº 2018.5.393.11.4) pertencentes ao Departamento de Zootecnia da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo (ESALQ/USP), em Piracicaba (SP), que foram desenvolvidas pelo Departamento de Genética da ESALQ/USP desde 1997 no projeto "Frango Feliz" e descritas anteriormente.

O grupo de parentais das aves utilizadas neste trabalho está descrito na Tabela 7.

Tabela 7. Número de progenitores por linhagem

Linhagem	Progenitores	Progenitoras	Total de aves
7P	11	22	33
Azul	18	58	76
Baianinha	24	43	67
Caipirão	35	67	102
Caipirinha	26	59	85
Carijó Barbado	8	17	25
Perna Longa	15	24	39
SooHo	4	19	23
Total	141	309	450

As aves avaliadas neste trabalho foram as mesmas aves utilizadas na estimação dos parâmetros genéticos das características de produção e qualidade dos ovos, cujo trabalho foi apresentado no capítulo 5, de forma que o tratamento dado às aves, do nascimento até o período de avaliação, já foi descrito anteriormente.

4.2.2. Avaliação dos ovos

A avaliação da cor dos ovos foi feita mensalmente, de fevereiro a abril de 2018, no laboratório do Instituto de Zootecnia em Nova Odessa/SP, com a utilização do espectrofotômetro digital Konica Minolta CM400d (Figura 17). Os ovos avaliados foram os mesmos utilizados para a avaliação das características de qualidade, cuja coleta foi descrita anteriormente, e analisados simultaneamente para as características de cor da casca e qualidade dos ovos. As características avaliadas foram os valores das coordenadas L*, a* e b*, do espaço de cor CIELab. Antes da leitura da cor da casca utilizando o espectrofotômetro, os ovos foram avaliados e classificados visualmente pela cor marrom ou azul da casca. Foram analisados um total de 1142 ovos de 597 poedeiras, filhas de 141 galos e 309 galinhas.

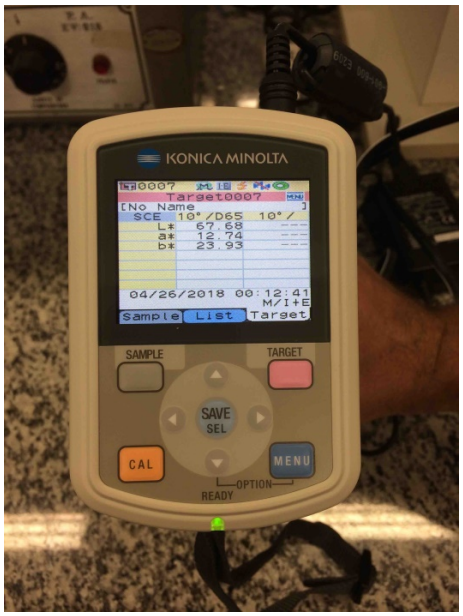

Figura 17. Espectrofotômetro digital Konica Minolta CM400d

A medição da cor do ovo foi feita por uma medida única na extremidade do ovo onde se localiza a câmara de ar (Figura 18). Segundo Li et al. (2006) a simplificação de múltiplas medições para um ponto único na extremidade da câmara de ar economiza muito tempo e trabalho no procedimento de medição sem diminuir a precisão. Essa extremidade apresenta uma vantagem adicional sobre os outros pontos uma vez que a máscara de medição do espectrofotômetro se encaixa melhor na superfície da casca nesse ponto sem que ocorra vazamento de luz, o que prejudica a precisão da medição (Li et al., 2006).

Figura 18. Medição da cor da casca do ovo

Um índice de cor da casca baseado nos três parâmetros de cor foi calculado através da fórmula ICC = L* - a* - b*, descrita por Cavero et al. (2012), onde valores menores indicam que a casca apresenta coloração mais escura.

As informações referentes às características de produção e qualidade dos ovos utilizadas neste estudo são as mesmas descritas e avaliadas no capítulo anterior: idade à primeira postura (IPP), produção total de ovos até a 45ª semana de idade (PROD), peso do ovo (PO), cor da gema (CG), altura do albúmen (AA), Unidades Haugh (HU), resistência da casca (RC), espessura da casca (EC), peso da gema (PG) e peso da casca (PC).

Após as análises dos ovos, os dados foram processados com a utilização do software *Statistical Analyses System* (SAS), para remoção de *outliers*. Foram removidos valores repetidos de mensuração ou inconsistentes, bem como as informações das aves com data de nascimento, lote ou box desconhecidos.

Os grupos de contemporâneas (GC) foram formados pelo lote de nascimento e box, de forma que foram obtidos 93 grupos contendo de 1 a 29 indivíduos. Os animais pertencentes a GC com menos de quatro indivíduos tiveram suas informações excluídas da base de dados. Ao final da exclusão restaram 1142 ovos avaliados, oriundos de 597 aves, filhas de 141 galos e 309 galinhas, e pertencentes a 70 GC. O número final de animais avaliados por linhagem está apresentado na Tabela 8.

Tabela 8. Número de animais e ovos avaliados por linhagem.

Linhagem	Animais avaliados	Ovos avaliados
7P	24	29
Azul	228	488
Baianinha	75	133
Caipirão	87	118
Caipirinha	95	201
Carijó Barbado	16	29
Perna Longa	44	89
SooHo	28	55
Total	597	1142

4.2.3. Estimação dos componentes de variância

Os componentes de variância foram estimados utilizando o seguinte modelo:

$$\mathbf{y} = \mathbf{X}\beta + \mathbf{Za} + \mathbf{Sc} + \boldsymbol{\varepsilon}$$

em que **y** é o vetor de observações fenotípicas; **X** é a matriz de incidência dos efeitos fixos; **β** é o vetor de efeitos fixos; **Z** é a matriz de incidência dos efeitos aleatórios aditivos genéticos; **a** é o vetor de efeitos aditivos genéticos, com **a** ~ N(0, $\mathbf{I}\sigma_a^2$); **S** é a matriz de incidência dos efeitos aleatórios de ambiente permanente; **c** é o vetor dos efeitos de ambiente permanente; e **ε** é o vetor de efeitos residuais, com **ε** ~ NID(**0**, $\mathbf{I}\sigma^2$). O vetor **β** incluiu os efeitos de grupo de contemporâneas, linhagem, corredor de localização da gaiola e como covariável o efeito da idade da galinha em semanas.

A variância fenotípica, o coeficiente de herdabilidade (h^2), a proporção da variância fenotípica devido aos efeitos de ambiente permanente (c^2) e o coeficiente de repetibilidade (r) foram estimados como descrito anteriormente.

Para a estimação dos componentes de covariância foi utilizado o seguinte modelo bivariado:

$$\begin{bmatrix} \boldsymbol{y_1} \\ \boldsymbol{y_2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{X_1} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \boldsymbol{X_2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \boldsymbol{Z_1} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \boldsymbol{Z_2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \boldsymbol{a_1} \\ \boldsymbol{a_2} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \boldsymbol{S_1} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \boldsymbol{S_2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \boldsymbol{c_1} \\ \boldsymbol{c_2} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \end{bmatrix}$$

em que os vetores $\mathbf{y_1}$ e $\mathbf{y_2}$ são referentes às observações da primeira e segunda característica, respectivamente; $\mathbf{X_1}$ e $\mathbf{X_2}$ são as matrizes de delineamento e $\boldsymbol{\beta_1}$ e $\boldsymbol{\beta_2}$ são os vetores de efeitos fixos para a primeira e segunda característica, respectivamente; $\mathbf{Z_1}$ e $\mathbf{Z_2}$ são as matrizes de delineamento e $\mathbf{a_1}$ e $\mathbf{a_2}$ são os vetores dos efeitos aleatórios aditivos genéticos, com N(**0**, $\mathbf{G_0} \otimes \mathbf{A}^{-1}$), em que $\mathbf{G_0}$ é a matriz de (co)variâncias entre os efeitos genéticos aditivos; $\mathbf{S_1}$ e $\mathbf{S_2}$ são as matrizes de delineamento dos efeitos aleatórios de ambiente permanente e $\mathbf{c_1}$ e $\mathbf{c_2}$ são os vetores dos efeitos de ambiente permanente, com $\mathbf{c_1}$,$\mathbf{c_2}$ ~ N(**0**, $\mathbf{E_p} \otimes \mathbf{I}$), em que $\mathbf{E_p}$ é a matriz de (co)variâncias entre

os efeitos de ambiente permanente; e $\boldsymbol{\varepsilon}_1$ e $\boldsymbol{\varepsilon}_2$ são os vetores de efeitos residuais N($\mathbf{0}$, $\mathbf{R} \otimes \mathbf{I}$), sendo **R** a matriz de (co)variâncias entre os efeitos residuais.

As correlações genéticas (r_g) e fenotípicas (r_p) foram obtidas como descrito anteriormente. Na estimação das correlações genéticas e fenotípicas envolvendo a idade à primeira postura (IPP) ou produção de ovos até a 45ª semana (PROD), o efeito permanente de ambiente foi incluído no modelo pelos motivos descritos anteriormente, embora estas características apresentem uma única medida. Da mesma forma, a interpretação das correlações envolvendo IPP ou PROD requer algum cuidado, em virtude do confundimento entre os efeitos ambientais permanentes e residuais.

As estimativas dos componentes de (co)variância e seus respectivos erros-padrão foram obtidas por meio do método de máxima verossimilhança restrita com o algoritmo AI (average information) utilizando o programa AIREMLF90 (Misztal et al., 2002). Os erros-padrão para a variância aditiva, variância dos efeitos de ambiente permanente e variância residual foram estimados como a raiz quadrada dos elementos da diagonal da inversa da matriz de informação. Para a variância fenotípica, coeficientes de herdabilidade, proporção da variância fenotípica devida aos efeitos de ambiente permanente, correlações genéticas e correlações fenotípicas, como alternativa aos erros-padrão, foram obtidos os desvios-padrão para as estimativas utilizando a abordagem de amostragem repetida proposta por Meyer e Houle (2013).

4.3. Resultados e Discussão

As estatísticas descritivas para a cor da casca do ovo (coordenadas L*, a*, b*) são apresentadas na Tabela 9. As estimativas de componentes de variância, herdabilidade e repetibilidade para estas características são apresentadas na Tabela 10 e as correlações genéticas e fenotípicas são apresentadas na Tabela 11. Já as correlações genéticas e fenotípicas entre a cor da casca e as características de produção e qualidade dos ovos são apresentadas nas Tabelas 12 e 13.

Tabela 9. Estatística descritiva para as coordenadas L*, a*, b* e índice de cor da casca do ovo (ICC) (todos os ovos avaliados)

Característica	N	Média	Desvio-padrão	Coeficiente de variação	Mínimo	Máximo
L*	1142	70,92	5,73	8,08	55,07	88,65
a*	1142	7,22	6,69	92,61	-8,14	18,77
b*	1142	20,62	4,89	23,73	5,09	32,57
ICC	1142	43,08	15,44	35.85	7,71	86,52

O parâmetro a* apresentou o maior coeficiente de variação, com valores variando entre -8,14 e 18,77. Segundo Li et al. (2006), os ovos cuja casca apresenta a coloração azul possuem valores

muito mais baixos e significativamente diferentes para a* que os ovos com casca marrom, e consequentemente este parâmetro pode ser utilizado para identificação da cor da casca. Dessa forma, o valor alto estimado para o coeficiente de variação de a* era esperado, uma vez que entre os ovos avaliados haviam alguns que apresentavam a cor da casca azul e outros ovos apresentavam casca de cor marrom.

Tabela 10. Componentes de (co)variâncias, coeficientes de herdabilidade e repetibilidade[1] (erro-padrão) estimados para as coordenadas L*, a*, b* e índice de cor da casca do ovo (ICC).

Característica	σ_a^2	σ_{pe}^2	e	σ_p^2	h^2	c^2	r
L*	12,75	5,40	8,20	26,35	0,48	0,20	0,69
	(3,115)	(2,445)	(0,498)	(1,608)	(0,102)	(0,096)	(0,252)
a*	8,36	13,24	2,60	24,20	0,35	0,55	0,89
	(2,348)	(2,121)	(0,158)	(1,511)	(0,089)	(0,088)	(0,009)
b*	7,13	4,25	7,72	19,10	0,37	0,22	0,60
	(1,997)	(1,669)	(0,466)	(1,088)	(0,095)	(0,089)	(0,030)
ICC	65,61	52,22	35,97	153,80	0,43	0,34	0,77
	(16,622)	(13,747)	(2,183)	(9,387)	(0,096)	(0,093)	(0,019)

[1]σ_a^2 = variância genética aditiva; σ_{pe}^2 = variância permanente de ambiente; σ_e^2 = variância residual; σ_p^2 = variância fenotípica; h^2 = coeficiente de herdabilidade; c^2 = proporção da variância fenotípica devida ao efeito de ambiente permanente; r = coeficiente de repetibilidade.

O parâmetro L* apresentou o maior coeficiente de herdabilidade, estimado em 0,48. Herdabilidades moderadas foram estimadas para as coordenadas a* e b*, com valores de 0,35 e 0,37, respectivamente. Estes valores foram semelhantes aos encontrados por Cavero et al. (2012) e Flock et al. (2007), que estimaram valores entre 0,44 e 0,51 para L*, entre 0,37 e 0,49 para a* e entre 0,27 e 0,35 para b*. No entanto, Goger et al. (2016) estimaram coeficientes de herdabilidade maiores para estas características, em duas linhagens comerciais de poedeiras de ovos marrons, com valores de 0,62 e 0,55 para L*, 0,32 e 0,55 para a* e 0,74 e 0,64 para b*.

Como os métodos de medição da cor da casca do ovo variam entre os diversos trabalhos, a comparação entre as estimativas dos parâmetros genéticos deve ser realizada com cuidado. Antes de 1960 a avaliação era subjetiva, e somente nas últimas décadas foram desenvolvidos dispositivos para uma avaliação quantitativa (Li et al., 2006). Embora a maioria dos trabalhos recentes utilize um colorímetro para medição do espaço de cor CIELab, vários autores estimaram os parâmetros genéticos utilizando diferentes índices calculados com base nos valores de L*, a* e b*. A variedade dos métodos de medição da cor da casca dificulta a comparação dos parâmetros genéticos entre os trabalhos. De uma forma geral, o coeficiente de herdabilidade para cor da casca varia entre 0,17 e 0,72 (Cavero et al., 2012; Flock et al., 2007; Francesch et al., 1997; Goger et al., 2016; Gowe et al., 1965; Wolc et al., 2012; Zhang et al., 2005).

O efeito permanente de ambiente foi mais importante para a coordenada a*, representando mais de 55% da variância fenotípica. Para os parâmetros L* e b*, o efeito permanente de ambiente representou 20% e 22% da variância fenotípica, respectivamente.

Tabela 11. Correlações genéticas (acima da diagonal) e fenotípicas (abaixo da diagonal) e seus respectivos erros-padrão (entre parênteses) entre as coordenadas L*, a* e b* para cor da casca do ovo.

	L*	a*	b*	ICC
L*		-0,90	-0,64	0,97
		(0,135)	(0,131)	(0,023)
a*	-0,67		0,65	-0,95
	(0,023)		(0,146)	(0,046)
b*	-0,61	0,56		-0,82
	(0,026)	(0,028)		(0,083)
ICC	0.89	-0,87	-0,82	
	(0,008)	(0,010)	(0,013)	

Tabela 12. Correlações genéticas e seus respectivos erros-padrão (entre parênteses) entre as coordenadas L*, a*, b* e o índice de cor da casca (ICC) e as características de idade à primeira postura (IPP), produção de ovos total até 45ª semana de idade (PROD), peso do ovo (PO), altura do albúmen (AA), cor da gema (CG), Unidades Haugh (HU), resistência da casca (RC), espessura da casca (EC), peso da gema (PG) e peso da casca (PC).

	IPP	PROD	PO	AA	CG	HU	RC	EC	PG	PC
L*	-0,36	0,40	0,20	-0,11	-0,25	-0,16	0,25	0,13	0,14	0,11
	(0,231)	(0,332)	(0,225)	(0,098)	(0,409)	(0,139)	(0,424)	(0,307)	(1,199)	(0,328)
a*	0,26	-0,36	-0,29	-0,04	0,00	0,03	-0,68	-0,24	-0,06	-0,36
	(0,262)	(0,369)	(0,245)	(0,156)	(0,646)	(0,136)	(0,928)	(0,381)	(0,473)	(0,356)
b*	0,03	-0,17	-0,27	0,05	-0,07	0,08	-0,70	-0,50	-0,15	-0,43
	(0,276)	(0,356)	(0,241)	(0,141)	(0,407)	(0,133)	(0,865)	(0,427)	(0,527)	(0,320)
ICC	-0,25	0,34	0,25	-0,08	-0,47	-0,15	0,67	0,28	0,08	0,32
	(0,243)	(0,544)	(0,290)	(0,132)	(0,108)	(0,162)	(0,786)	(0,600)	(0,496)	(0,308)

Tabela 13. Correlações fenotípicas e seus respectivos erros-padrão (entre parênteses) entre as coordenadas L*, a*, b* e o índice de cor da casca (ICC) e as características de idade à primeira postura (IPP), produção de ovos total até 45ª semana de idade (PROD), peso do ovo (PO), altura do albúmen (AA), cor da gema (CG), Unidades Haugh (HU), resistência da casca (RC), espessura da casca (EC), peso da gema (PG) e peso da casca (PC).

	IPP	PROD	PO	AA	CG	HU	RC	EC	PG	PC
L*	-0,08	0,12	-0,08	-0,04	-0,03	-0,02	-0,14	-0,18	-0,07	-0,16
	(0,044)	(0.044)	(0,039)	(0,034)	(0,032)	(0,033)	(0,033)	(0,336)	(0,034)	(0,036)
a*	0,03	-0,01	0,04	0,01	0,04	0,00	0,04	0,10	0,06	0,08
	(0,045)	(0,046)	(0,039)	(0,033)	(0,027)	(0,031)	(0,032)	(0,034)	(0,033)	(0,036)
b*	-0,06	0,05	0,01	0,03	-0,02	0,03	0,04	0,01	0,02	0,03
	(0,043)	(0,043)	(0,038)	(0,034)	(0,033)	(0,033)	(0,033)	(0,034)	(0,034)	(0,036)
ICC	-0,02	0,03	-0,05	-0,02	-0,03	-0,00	-0,10	-0,13	-0,05	-0,12
	(0,045)	(0,045)	(0,040)	(0,035)	(0,026)	(0,034)	(0,034)	(0,035)	(0,036)	(0,037)

A correlação genética entre L* e a* foi estimada em -0,90, indicando que ovos com coloração da casca mais escura (menor L*) são mais avermelhados (maior a*). A correlação genética estimada entre L* e b* foi de -0,64, também antagônica, porém em menor nível. Já a correlação genética entre a* e b* foi positiva e estimada em 0,65.

Estudos anteriores confirmaram as relações antagônicas entre L* e a* e entre L* e b*, em menor grau. Valores semelhantes para a correlação entre L* e a* foram estimados por Aygun

(2014), Cavero et al. (2012), Flock et al. (2007) e Odabasi et al. (2007), variando entre -0,75 e -0,97. No entanto, Goger et al. (2016) estimaram valores mais baixos para essa correlação, entre -0,44 e -0,49. Os valores estimados por Aygun (2014), Flock et al. (2007) e Goger et al. (2016) para a correlação entre L* e b* variaram entre -0,07 e -0,26, bem abaixo do estimado neste trabalho para essa correlação. No entanto, as estimativas de Cavero et al. (2012) e Odabasi et al. (2007) para a correlação entre L* e b* variaram bastante, com valores entre -0,01 e -0,73, e -0,19 e +0,26, respectivamente. Estes autores estimaram as correlações entre os parâmetros de cor da casca do ovo em diversas idades ao longo da vida da galinha, o que pode explicar a grande variação entre as estimativas.

A correlação genética estimada entre a* e b* foi 0,65, maior que os valores estimados por Aygun (2014), Flock et al. (2007) e Goger et al. (2016), que variaram entre 0,21 e 0,41. Novamente as estimativas de Cavero et al. (2012) e Odabasi et al. (2007) para esta correlação apresentaram maior variação, com valores entre 0,02 e 0,71 e entre 0,08 e 0,48, respectivamente.

As correlações estimadas entre L* e as características idade à primeira postura (IPP) e produção de ovos até a 45ª semana (PROD) foram -0,36 e 0,40, respectivamente. Este resultado sugere que aves que atingiram a maturidade mais tarde tendem a colocar ovos com casca mais escura. Da mesma forma, aves com maior produção de ovos, tendem produzir ovos com coloração da casca mais clara, provavelmente porque o aumento da produção de ovos reduz o tempo que o ovo permanece no útero, reduzindo a quantidade de pigmento a ser depositado na casca. Já as correlações estimadas entre as coordenadas a* e b* e as características produtivas foram 0,26 (entre a* e IPP), -0,36 (entre a* e PROD), 0,03 (entre b* e IPP) e -0,17 (entre b* e PROD).

As características de qualidade interna do ovo: altura do albúmen (AA), cor da gema (CG), unidades Haugh (HU) e peso da gema (PG) apresentaram pouca relação com as características de cor da casca (L*, a* e b*). Estes resultados são semelhantes aos descritos por Aygun (2014), Wolc et al. (2012), Yang et al. (2009) e Zhang et al. (2005), que estimaram correlações baixas ou não significativas entre estas características. As correlações genéticas estimadas neste estudo foram de -0,11, -0,25, -0,16 e 0,14 entre L* e AA, CG, HU e PG, respectivamente; -0,04, 0,00, 0,03 e -0,06 entre a* e AA, CG, HU e PG, respectivamente; e 0,05, -0,07, 0,08 e -0,15 entre b* e AA, CG, HU e PG, respectivamente.

As correlações genéticas estimadas entre peso do ovo (PO) e as características de cor da casca do ovo (L*, a* e b*) foram 0,20, -0,29 e -0,27, respectivamente. Este resultado sugere que ovos maiores e mais pesados tendem a apresentar coloração da casca mais clara. Resultados semelhantes foram reportados por Cavero et al. (2012), Francesch et al. (1997) e Goger et al. (2016). No entanto, Aygun (2014), Wolc et al. (2012) e Zhang et al. (2005) estimaram correlações negativas

entre cor da casca e o peso do ovo, sugerindo que ovos mais pesados apresentam cor da casca mais escura, diferentemente do observado neste estudo.

Alguns trabalhos anteriores sugerem que a cor da casca do ovo está relacionada com a resistência, a espessura e o peso da casca (Aygun, 2014; Ingram et al., 2008; Yang et al., 2009; Zhang et al., 2005; Zita et al., 2009). A qualidade da casca é um fator importante para os produtores de ovos tendo em vista que ovos rachados ou quebrados não podem ser comercializados, resultando numa menor lucratividade para estes produtores (Yang et al., 2009).

As correlações genéticas estimadas entre peso do ovo (EW) e as coordenadas L*, a* e b* foram baixas, sugerindo pouca relação entre estas características. Os valores estimados foram entre L*, a*, b* e EW foram 0,20, -0,29 e -0,27, respectivamente. Este resultado sugere a tendência de ovos maiores e mais pesados apresentarem coloração da casca mais clara e menos avermelhada, semelhante ao reportado por Goger et al. (2016), Cavero et al. (2012) e Francesch et al. (1997). No entanto, Zhang et al. (2005) e Yang et al. (2009) encontraram pouca ou nenhuma relação entre EW e a cor do ovo.

A correlação genética estimada entre L* e ESS foi 0,25, indicando que ovos mais claros têm maior ESS. Resultado semelhante foi relatado por Cavero et al. (2012). Para a* e b*, as correlações genéticas estimadas com ESS foram -0,68 e -0,70, respectivamente. Estas correlações são mais altas que as observadas entre L* e ESS, sugerindo que a* e b* são melhores indicadores da resistência da casca que L*. Aygun (2014) e Yang et al. (2009) relataram correlações baixas entre cor da casca e ESS, enquanto Zhang et al. (2005) e Zita et al. (2009) não encontraram relação entre estas características.

Os valores estimados para as correlações genéticas entre L* e EST, a* e EST e b* e EST foram 0,13, -0,24 e -0,50, respectivamente. Baixas correlações também foram relatadas por Ingram et al. (2008) e Zita et al. (2009). Zhang et al. (2005) não encontraram relação entre cor da casca e EST. No entanto, Yang et al. (2009) estimaram valor de -0,443 para a correlação entre cor da casca e EST. As correlações genéticas entre ESW e as coordenadas L*, a* e b* foram estimadas em 0,11, -0,36 e -0,43, semelhante ao relatado por Yang et al. (2009). No entanto, Zhang et al. (2005) encontraram pouca ou nenhuma relação entre cor da casca e ESW. Estes resultados indicam que b* é o melhor indicador da qualidade externa da casca.

Estes resultados sugerem que a luminosidade da cor da casca (L*) tem pouca relação com as características de qualidade externa do ovo. A tonalidade da cor da casca (coordenadas a* e b*) apresenta maior relação com estas características. O peso do ovo parece ter pouca relação com a cor do ovo.

4.4. Conclusões

A estimativa dos parâmetros genéticos das características para cor da casca dos ovos verificou a existência de variação genética, indicando a possibilidade de ganho genético por meio da seleção dos melhores reprodutores. Estas características apresentam correlações altas entre elas e coeficiente de herdabilidade moderado a alto, o que está de acordo com os estudos anteriores.

O relacionamento antagônico entre o parâmetro L*, que indica a luminosidade, e o parâmetro a*, a coordenada vermelho/verde, sugere que ovos com cor da casca mais escura apresentam coloração mais avermelhada. Da mesma forma, a correlação genética negativa entre L* e b*, a coordenada amarelo/azul, sugere que ovos com cascas de coloração mais azulada tendem a apresentar a casca mais clara.

A correlação genética entre peso do ovo e cor da casca sugere que ovos maiores apresentam coloração da casca mais clara, o que é corroborado por estudos anteriores.

No geral, as correlações genéticas entre as características de qualidade interna e externa dos ovos e as características de cor do ovo foram baixas a moderadas, indicando pouca relação entre estas características. A seleção genética com base nas características de cor da casca deve ser feita somente se o objetivo da seleção for a uniformização da coloração da casca, fator importante para maior aceitação do produto por parte dos consumidores.

REFERÊNCIAS

Aygun A (2014) The relationship between eggshell colour and egg quality traits in table eggs. Indian Journal of Animal Research 48 (3): 290-294.

Cavero D, Schmutz M, Icken W, Preisinger R (2012) Attractive eggshell color as a breeding goal. Lohmann Information 47 (2): 15-21.

De Ketelaere B, Bamelis F, Kemps B, Decuypere E, De Baerdemaeker J (2004) Non-destructive measurements of the egg quality. World's Poultry Science Journal 60: 289-302.

Flock DK, Schmutz M, Preisinger R (2007) Optimierung der Eiqualität aus züchterischer Sicht. Züchtungskunde 79 (4): 309-319.

Francesch A, Estany J, Alfonso L, Iglesias M (1997) Genetic parameters for egg number, egg weight, and eggshell color in three catalan poultry breeds. Poultry Science 76: 1627–1631.

Goger H, Demirtas SE, Yurtogullari S (2016) A selection study for improving eggshell colour in two parent lines of laying hens and their hybrids. Italian Journal of Animal Science 15 (3): 390-395.

Gowe RS, Budde HW, McGann PJ (1965) On measuring egg shell color in poultry breeding and selection programs. Poultry Science 44: 264–270.

Hanford KJ, Van Vleck LD, Snowder GD (2003) Estimates of genetic parameters and genetic change for reproduction, weight, and wool characteristics of Targhee sheep. Journal of Animal Science 81 630-640.

Ingram DR, Hatten III LF, Homan KD (2008) A study on the relationship between eggshell color and eggshell quality in commercial broiler breeders. International Journal of Poultry Science 7 (7): 700-703.

Kennedy GY, Vevers HG (1973) Eggshell pigments of the Araucano fowl. Comparative Biochemistry and Physiology 44: 11-25.

Lang MR, Wells JW (1987) A review of eggshell pigmentation. World's Poultry Science Journal 43: 238-246.

Li XY, Xu GY, Hou ZC, Zhao R, Yang N (2006) Variation of eggshell colour in different egg-type chickens. Archiv für Geflügelkunde 70 (6): 278–282.

Meyer K, Houle D (2013) Sampling based approximation of confidence intervals for functions of genetic covariance matrices. In: Association for the Advancement of Animal Breeding and Genetics Conference, 20., Napier. Proceedings... Napier: AAABG, 2013. p. 523–526.

Misztal I, Tsuruta S, Strabel T, Auvray B, Druet T, Lee DH (2002) BLUPF90 and related programs (BGF90). In: 7th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, Montpellier. Proceedings... Montpellier: WCGALP, 2002. Disponível em: < http://nce.ads.uga.edu/wiki/lib/exe/fetch.php?media=28-07.pdf>. Acesso em: 28 fev. 2019.

Odabasi AZ, Miles RD, Balaban MO, Portier KM (2007) Changes in brown eggshell color as the hen ages. Poultry Science 86: 356–363.

Okut H, Bromley CM, Van Vleck LD, Snowder GD (1999) Genotypic expression at different ages: I. Prolificacy traits of sheep. Journal of Animal Science, 77: 2357-2365.

Samiullah S, Roberts JR, Chousalkar K (2015) Eggshell color in brown-egg laying hens - a review. Poultry Science 94: 2566–2575.

Solomon SE (1997) Egg and eggshell quality. Iowa State University Press, Ames.

Wang XL, Zheng JX, Ning ZH, Qu LJ, Xu GY, Yang N (2009) Laying performance and egg quality of blue-shelled layers as affected by different housing systems. Poultry Science 88: 1485-1492.

Wang Z, Qu L, Yao J, Yang X, Li G, Zhang Y, Li J, Wang X, Bai J, Xu G, Deng X, Yang N, Wu C (2013) An EAV-HP insertion in 5' flanking region of SLCO1B3 causes blue eggshell in the chicken. PLOS Genetics 9 (1): e1003183.

Wei R, Bitgood JJ (1990) A new objective measurement of eggshell color. 1. A test for potential usefulness of two color measuring devices. Poultry Science 69: 1175-1780.

Wolc A, Arango J, Settar P, O'Sullivan NP, Olori VE, White IMS, Hill WG, Dekkers JCM (2012) Genetic parameters of egg defects and egg quality in layer chickens. Poultry Science 91: 1292–1298.

Yang HM, Wang ZY, Lu J (2009) Study on the relationship between eggshell colors and egg quality as well as shell ultrastructure in Yangzhou chicken. African Journal of Biotechnology 8 (12): 2898-2902.

Zhang LC, Ning ZH, Xu GY, Hou ZC, Yang N (2005) Heritabilities and genetic and phenotypic correlations of egg quality traits in brown-egg dwarf layers. Poultry Science 84: 1209-1213.

Zita L, Tůmová E, Štolc L (2009) Effects of genotype, age and their interaction on egg quality in brown-egg laying hens. Acta Veterinaria Brno 78: 85-91.