

Universidade Federal de Minas Gerais
Escola de Veterinária da UFMG
Programa de Pós-graduação em Zootecnia

Rodrigo Mezêncio Godinho

Endogamia e heterose em características de desempenho e
reprodutivas de codornas de corte

Belo Horizonte
2014

Rodrigo Mezêncio Godinho

Endogamia e heterose em características de desempenho e reprodutivas de codornas de corte

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial para Obtenção do grau de Mestre em Zootecnia.

Área de concentração: Genética e Melhoramento Animal
Professor Orientador: Dr. Martinho de Almeida e Silva

Belo Horizonte
2014

DISSERTAÇÃO defendida e aprovada em ____/____/____ pela
Comissão Examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Dr. Martinho de Almeida e Silva (Orientador)

Prof. Dr. Idalmo Garcia Pereira

Prof. Dr. Aldrin Vieira Pires

Agradecimentos

Em primeiro lugar ao Criador, que tornou possível a minha vida e todas as outras que tanto interesse me despertaram, e permitiu que sobre elas operassem as mãos da evolução de forma natural e artificial.

Ao meu pai, Rubens Godinho Damasceno, pelo exemplo de garra, determinação e vontade de vencer que fizeram com que este homem, ainda menino, cruzasse as gerais, e já adulto, cruzasse os oceanos, em busca de seus anseios e principalmente por ter feito seus, meus sonhos e minha sede por conhecimento.

À minha mãe, Margarida Maria Mezêncio Lobo, pelo amor, força e benevolência que inundam de paz e esperança a minha vida e meu núcleo familiar trazendo aconchego aos nossos corações e força para sermos cada dia melhores, e acreditarmos que a vida é construída nos pequenos momentos e nas grandes atitudes, dia após dia.

Aos meus irmãos, Rafael, Larissa e Rodolfo, e a todos os membros das famílias Mezêncio Lobo e Godinho Damasceno, por todo apoio, compreensão e acolhimento devotados e por compartilharem minha vida acadêmica.

A zelosa amiga e companheira, Gabriela Dias Mello, por, além de me amar e respeitar, viver cada conquista e cada derrota como se suas fossem, e torcer pelo meu futuro como se a ela pertencesse. Estaremos sempre juntos.

Ao amigo e companheiro, Thiago Correa dos Santos, por compartilhar meus anseios e frustrações e pela força e respeito que me ajudaram a vencer cada dia desses três anos da minha carreira.

Aos amigos do COLTEC, Carol, Dandara, Joyce, Mário, Marcus, Nathan e Paulina, que se tornaram parte da minha história e a prova de que amizades verdadeiras não são destruídas pelo tempo e pela distância.

Aos amigos da VETERINÁRIA, que me ajudaram e apoiaram nos momentos difíceis e compartilharam os de alegria, em especial ao Arthur Fernandes, Anna Luiza, Juliana Quintanilha, Anamaria e Nathália Sollecito.

Aos amigos do CETAS, que com tanto amor e alegria me deram aquela força e energia para começar cada semana, em especial a Alice Lopes, Ellen Jacques, Érika Procópio e Jaqueline Prata.

Aos amigos da ZOOTECNIA, que me ensinaram que juntos podemos fazer mais e melhor e foram imprescindíveis na execução do experimento. Vocês foram uma segunda família e tenho certeza de que não teria feito tão bem sem vocês, Fabiana Ferreira, Arthur Fernandes, Laila Alvarenga, Vera Cardoso, Sirlene Lázaro, Flaviana Miranda, Tatiana Vidal, Tiago Passafaro, Ana Paula Brustolini, Ellen Jacques, Muller Marques, Alex Serafim, Gabriela Canabrava, e a todos os membros do GEMA, Grupo de Estudos em Melhoramento Animal.

À professora Marta Svartman, pelos ensinamentos de genética e de vida naqueles quatro anos e meio de iniciação científica, que ficaram impressos no Rodrigo pessoa e foram imprescindíveis para a formação do ainda em construção Rodrigo profissional, ensinamentos que serão levados para o resto da vida.

A todos os colegas do ICB, Instituto de Ciências Biológicas da UFMG, em especial às professoras Monica Bucciarelli Rodriguez e Vilma Lúcia Lopes Pinto Bianchini, pelos valiosos ensinamentos e aos colegas Ana Heloísa, Ana Cláudia, Érika Procópio, Naiara Araújo, Natália Duarte, Mirella D'Elia e Lucas Castro pelos momentos de cumplicidade e felicidade que conseguimos viver no meio de tanto trabalho.

A todos os funcionários da Fazenda Experimental Prof. Hélio Barbosa, em especial à Eliane e ao Marciano, e a todos os funcionários do Laboratório de Metabolismo e Calorimetria Animal, LAMACA, em especial ao prof. Ricardo Reis e Silva, ao Sr. Nilson e ao Sr. Roberto por possibilitarem e me ajudarem por mais de três anos na realização do experimento.

À Escola de Veterinária da UFMG, aos funcionários e aos professores do Departamento de Zootecnia, especialmente aos meus mestres: Martinho de Almeida e Silva, José Aurélio Garcia Bergmann, Jonas Carlos Campos Pereira, Fernando Enrique Madalena, Denise Aparecida Andrade de Oliveira, Idalmo Garcia Pereira e Fábio Luiz Buranelo Toral, pelos conhecimentos transmitidos, exemplo de carreira e pela oportunidade de crescimento acadêmico e profissional.

Ao meu orientador Professor Dr. Martinho de Almeida e Silva, pela oportunidade, paciência, apoio, confiança e respeito, e por ter tomado toda e qualquer decisão baseado no que acreditava ser o melhor para minha carreira e para o meu futuro profissional.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de estudos concedida, e às fontes de fomento CNPq e FAPEMIG pelo apoio financeiro.

Aos animais, razão e inspiração, aos quais rendo meu respeito e gratidão.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para essa conquista, meu sincero agradecimento.

*Se você não consegue explicar de forma simples,
é porque não entende suficientemente bem.*
Albert Einstein

SUMÁRIO

1. CAPÍTULO 1 - Efeito da endogamia e heterose em características produtivas e reprodutivas em codornas <i>Coturnix coturnix</i>	11
1.1. INTRODUÇÃO.....	11
1.2. REVISÃO DE LITERATURA.....	13
1.2.1. Endogamia.....	13
1.2.2. Endogamia em codornas.....	16
1.2.3. Heterose.....	18
1.2.4. Heterose em codornas.....	19
1.3. LITERATURA CITADA.....	22
2. CAPÍTULO 2 - Efeito da endogamia sobre características produtivas e reprodutivas em codorna de corte <i>Coturnix coturnix coturnix</i>	26
2.1. INTRODUÇÃO.....	28
2.2. MATERIAL E MÉTODOS.....	30
2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	32
2.4. CONCLUSÕES.....	44
2.5. LITERATURA CITADA.....	45
3. CAPÍTULO 3 - Efeito da heterose sobre características produtivas e reprodutivas em codornas de corte <i>Coturnix coturnix coturnix</i>	47
3.1. INTRODUÇÃO.....	50
3.2. MATERIAL E MÉTODOS.....	51
3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	53
3.4. CONCLUSÕES.....	63
3.5. LITERATURA CITADA.....	64
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	67

LISTA DE TABELAS – CAPÍTULO 2

Tabela 1. Número de observações (n), médias, desvios-padrão (σ) e equações de regressão dos pesos corporais (pc) das codornas da linhagem EV1 no sistema de irmãos completos de acordo com o coeficiente médio de endogamia (F %) nas seis idades avaliadas	33
Tabela 2. Número de observações (n), médias, desvios-padrão (σ) e equações de regressão dos pesos corporais (pc) das codornas da linhagem EV2 no sistema de irmãos completos de acordo com o coeficiente médio de endogamia (F %) nas seis idades avaliadas	34
Tabela 3. Número de observações (n), médias, desvios-padrão (σ) e equações de regressão dos pesos corporais (pc) das codornas da linhagem EV1 no sistema de meio irmãos de acordo com o coeficiente médio de endogamia (F %) nas seis idades avaliadas	35
Tabela 4. Número de observações (n), médias, desvios-padrão (σ) e equações de regressão dos pesos corporais (pc) das codornas da linhagem EV2 no sistema de meio irmãos de acordo com o coeficiente médio de endogamia (F %) nas seis idades avaliadas	36
Tabela 5. Número de observações (n), mortalidade (m, %) e equações de regressão das codornas das linhagens EV1 e EV2 submetidas aos acasalamentos de irmãos completos de acordo com o coeficiente médio de endogamia (F, %) nas seis idades avaliadas...	38
Tabela 6. Número de observações (n), mortalidade (m, %) e equações de regressão das codornas das linhagens EV1 e EV2 submetidas aos acasalamentos de meio irmãos de acordo com o coeficiente médio de endogamia (F, %) nas seis idades avaliadas...	39
Tabela7. Média da idade ao primeiro ovo (IPO), Produção de ovos no Período (PP) e postura acumulada (PA) de codornas de corte EV1 submetidas ao acasalamento de irmãos completos de acordo com o coeficiente de endogamia (F, %) e equações de regressão	41
Tabela 8. Média da idade ao primeiro ovo (IPO), Produção de ovos no Período (PP) e postura acumulada (PA) de codornas de corte EV2 submetidas ao acasalamento de irmãos completos de acordo com o coeficiente de endogamia (F, %) e equações de regressão	41
Tabela 9. Média da idade ao primeiro ovo (IPO), Produção de ovos no Período (PP) e postura acumulada (PA) de codornas de corte EV1 submetidas ao acasalamento de meio irmãos de acordo com o coeficiente de endogamia (F, %) e equações de regressão	42
Tabela 10. Média da idade ao primeiro ovo (IPO), Produção de ovos no Período (PP) e postura acumulada (PA) de codornas de corte EV2 submetidas ao acasalamento de meio irmãos de acordo com o coeficiente de endogamia (F,%) e equações de regressão	43

LISTA DE TABELAS – CAPÍTULO 3

- Tabela 1. Médias dos pesos das codornas europeias no sistema de acasalamento de irmãos completos de acordo com as linhas puras, endogâmicas e seus cruzamentos recíprocos, significância dos contrastes ortogonais e heterose observada 54
- Tabela 2. Médias dos pesos das codornas europeias no sistema de acasalamento de meio irmãos de acordo com as linhas puras, endogâmicas e seus cruzamentos recíprocos, significância dos contrastes ortogonais e heterose observada 55
- Tabela 3. Número de aves, mortalidade e heterose de codornas europeias no sistema de acasalamento de irmãos completos de acordo com as linhas puras, endogâmicas e seus cruzamentos recíprocos 57
- Tabela 4. Número de aves, mortalidade e heterose de codornas europeias no sistema de acasalamento de irmãos completos de acordo com as linhas puras, endogâmicas e seus cruzamentos recíprocos59
- Tabela 5. Médias de idade à maturidade sexual e da produção de ovos acumulada por período de codornas europeias no sistema de acasalamento de irmãos completos de acordo com as linhas puras, endogâmicas e seus cruzamentos recíprocos 60
- Tabela 6. Médias de idade à maturidade sexual e da produção de ovos acumulada por período de codornas europeias no sistema de acasalamento de meio irmãos paternos de acordo com as linhas puras, endogâmicas e seus cruzamentos recíprocos 61
-

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

F – Coeficiente de endogamia do indivíduo
F_A - Coeficiente de endogamia de ancestral comum
g – grama
kcal - quilocaloria
N_e – Tamanho efetivo da população
QTL – Locos de herança quantitativa
R – Coeficiente de parentesco
r² – coeficiente de determinação

CAPÍTULO 1: Efeito da endogamia e heterose em características produtivas e reprodutivas em codornas *Coturnix coturnix*

1.1. INTRODUÇÃO

A coturnicultura brasileira se enquadra como agronegócio estável inserido na avicultura industrial apresentando resultados promissores aos investidores e boas perspectivas de crescimento. Essa situação decorre dos incrementos em novas tecnologias de produção experimentados a partir da década de 1980. Em 2010 foram alojadas 14,68 milhões de codornas com aptidão para produção de ovos e/ou carne em todo o Brasil e espera-se que em 2020 sejam em torno de 36 milhões de aves alojadas (Bertechini, 2010). Para maior desenvolvimento da atividade, há necessidade de programas de melhoramento genético de codornas, principalmente de corte pelo menor espaço no mercado, com o objetivo de aumentar a eficiência e o potencial produtivo destas aves e gerar, em decorrência disto, fonte de proteína animal de qualidade.

A maior parte das codornas utilizadas nos sistemas de produção brasileiros pertence a duas estirpes genéticas: *Coturnix coturnix japonica* e *Coturnix coturnix coturnix*, popularmente conhecidas como codornas japonesas e codornas europeias, respectivamente. As codornas japonesas têm menor porte e maior precocidade sendo opção interessante para a produção de ovos e as codornas europeias, de maior porte, são melhor opção aos sistemas produtores de carne, embora as codornas japonesas sejam muito utilizadas para ambos os sistemas inclusive em regime de dupla aptidão.

Observa-se na literatura escassez de estudos acerca do efeito tanto de elevadas taxas de endogamia, quanto do efeito de heterose sobre o desempenho produtivo e reprodutivo em codornas europeias *Coturnix coturnix coturnix* utilizadas para produção de carne, e a maior parte das informações disponíveis são de trabalhos de pesquisa mais antigos e em codornas japonesas *Coturnix coturnix japonica* utilizadas para produção de ovos (Sittmann et al., 1966; Kulenkamp et al., 1973; Chahil et al., 1975; Gerken et al., 1988; Sato et al., 1989; Baik e Marks, 1993; Marks, 1995; Moritsu et al., 1997). Observa-se também maior quantidade de estudos acerca do efeito da endogamia e heterose sobre características produtivas e reprodutivas em outras espécies.

As codornas europeias *Coturnix coturnix coturnix* são uma boa opção para a produção de carne em razão do seu maior porte. É referida como codorna comum em contraste à codorna japonesa, ou codorna selvagem em contraste à codorna doméstica por alguns autores quando comparada à subespécie *Coturnix coturnix japonica* (Vali, 2008). Existem também designações populares como “codornão” no Brasil ou “codorna gigante” (giant-quail) na Europa. Essa espécie não foi extensivamente utilizada como animal de laboratório ou animal modelo como a japonesa e os programas de melhoramento dela datam das duas últimas décadas. Daí a escassez de trabalhos na literatura.

Espera-se que como consequência das taxas elevadas de endogamia, tenha-se perda parcial do ganho genético e redução do valor fenotípico médio, evidenciado, principalmente, pelos caracteres relacionados à capacidade reprodutiva ou eficiência fisiológica (Silva et al., 2001). A falta de programas de acasalamento eficientes e o fato de se trabalhar com rebanhos fechados têm sido causas predisponentes para o avanço contínuo do grau de endogamia e do número de animais endogâmicos. Em codornas de corte a seleção é comumente praticada levando-se em consideração apenas o peso das aves. Isso indica que o incremento no coeficiente de endogamia em codornas deve ser evitado uma vez que, programas de melhoramento que praticam seleção a partir de uma única característica são mais propensos a ter altos incrementos nos coeficientes de endogamia (Oliveira et al., 1999).

Os cruzamentos são um sistema de acasalamentos de dessemelhantes que promovem mudanças nas frequências genotípicas da população e tem por consequência a heterose, ou vigor híbrido, que pode ser definida como a superioridade da média do mérito dos animais em determinada característica, obtida por exogamia, em relação à média de seus pais em mérito individual (Lush, 1964; Falconer e Mackay, 1996).

A prática de cruzamentos é ferramenta importante em sistemas de produção animal como a bovinocultura de corte e de leite, a suinocultura e a avicultura, tanto de corte quanto destinada a aves de postura (Willham e Pollak, 1985). A exploração da heterose é ferramenta de rotina para criadores de frangos de corte e galinhas poedeiras, onde são selecionadas linhas especializadas em determinadas características e em seguida a heterose é obtida acasalando-as para a produção do cruzamento industrial (Williams et al., 2002). A Heterose será maior quanto maior o aumento na heterozigose

gerado no cruzamento, o que, por sua vez, será proporcional ao grau de endogamia e à distância genética entre as linhas parentais.

Desta forma, estudos dos efeitos do grau de endogamia e da heterose sobre as características produtivas e reprodutivas em codornas de corte são importantes para subsidiarem os programas de melhoramento genético na espécie.

1.2. REVISÃO DE LITERATURA

1.2.1 Endogamia

A endogamia resulta do acasalamento de animais aparentados. Ela causa acréscimo no número de genes em homozigose e decréscimo daqueles em heterozigose levando a alteração das frequências genotípicas da população (Falconer & Mackay, 1996). O grau de endogamia é a probabilidade de que dois alelos quaisquer, em um loco gênico do indivíduo, sejam idênticos por origem. É dada pela metade do parentesco entre os pais do indivíduo (Lush, 1964), e o efeito primário dela é o aumento da probabilidade de o filho receber a mesma herança do pai e da mãe. Isto tende a diminuir a porcentagem de heterozigose na população e a produzir indivíduos com grau de parentesco acima de 50%. Deste alto grau de parentesco resultam todos os outros efeitos da endogamia.

Os genes que devem existir nos indivíduos de uma geração representam amostra daqueles que existiam nos indivíduos da geração anterior. Devido a pequenos tamanhos de amostra, a frequência do gene numa geração é muitas vezes, por chance, diferente da frequência do gene na geração anterior, fenômeno conhecido como flutuação alélica. Assim, a frequência do gene pode oscilar atingindo às vezes frequência igual a 1 ou 0. Neste caso a linhagem torna-se homozigota para esse gene ou para o seu alelo. Esta homozigose não se perde naquela população, exceto por mutação, desde que a endogamia seja continuada. Crow e Kimura (1970) afirmam que existem duas causas possíveis do declínio da média do valor fenotípico de características quantitativas provocadas pela endogamia. A primeira é que os genes favoráveis tendem a ser

dominantes ou parcialmente dominantes, e a segunda é o fato do heterozigoto ter valor fenotípico maior que o homozigoto.

O coeficiente de endogamia (F) de um indivíduo pode ser calculado como sendo a metade do coeficiente de parentesco entre seus pais (Wright, 1922). O parentesco por sua vez representa a porcentagem esperada de genes em comum entre indivíduos. (Souza, 2009). O coeficiente de endogamia começa em zero para o acasalamento ao acaso, em que a proporção de heterozigotos é dada por

$$2q(1 - q),$$

e essa proporção cresce para 100 por cento, à medida que a proporção provável de heterozigotos caminha para zero. O coeficiente de endogamia tem que ser expresso de modo relativo e não em termos do número real de genes em homozigose, (Lush, 1964).

O coeficiente de endogamia de Wright (F), originalmente expresso como o valor da correlação genética entre dois gametas, é interpretado como a probabilidade de dois alelos, posicionados no mesmo loco, serem idênticos por origem (Málecot, 1948). Mais recentemente, os trabalhos como o de Kim (2007), indicam que o valor de F também pode ser calculado por meio de marcadores microssatélites.

Segundo Lush (1964), o coeficiente de endogamia de um indivíduo é exatamente $\frac{1}{2}$ do parentesco entre seus pais, a menos que estes, por sua vez já sejam endogâmicos devendo-se então fazer uma correção usualmente pequena.

$$F_X = \frac{1}{2} \sum [(\frac{1}{2})^n (1 + F_A)],$$

em que F_X é o coeficiente de endogamia do animal X ; n é o número de gerações (segregações intercaladas) numa linha por meio da qual pai e mãe são parentes; F_A é o coeficiente de endogamia do ascendente comum (A), a partir do qual se bifurca a linhagem de descendência; e Σ é o sinal de soma, indicando que deve ser avaliada em separado cada “passagem” de parentesco entre pai e mãe, e que, depois, todos os resultados devem ser adicionados.

A base genética da depressão endogâmica pode ser explicada por duas teorias principais (Crow e Kimura, 1970). A primeira, hipótese da dominância parcial, explica a depressão causada pela endogamia como sendo causada pela expressão de alelos recessivos deletérios em indivíduos homozigotos. Com o aumento da endogamia, há diminuição dos heterozigotos e a proporção de indivíduos homozigotos expressando os

alelos recessivos que estavam ocultos nos heterozigotos aumenta. A segunda é a teoria da sobredominância onde os heterozigotos são superiores a ambos homozigotos e a diminuição em seu número anula o efeito da sobredominância. Pesquisas com locos de caracteres quantitativos (QTLs) corroboram ambas as teorias (Charlesworth e Charlesworth, 1999) que não são mutuamente exclusivas. As duas envolvem um mecanismo de desvio da média dos homozigotos. A dominância parcial requer que os heterozigotos sejam superiores à média dos homozigotos enquanto a sobredominância requer que os heterozigotos sejam superiores a ambos homozigotos. Com essas hipóteses espera-se que a relação entre as características quantitativas e a taxa de endogamia seja linear (Malécot, 1948).

Tamanho da população e a proporção de machos e fêmeas são fatores importantes e que têm efeito sobre a taxa de endogamia (Norberg e Soressen, 1970). Pirchener (1985) salientou que a endogamia não apenas reduz a média das características que apresentam heterose, mas também os animais endogâmicos parecem mais sensíveis às influências ambientais em razão do enfraquecimento da homeostase fisiológica, isto é, a habilidade de um indivíduo manter seu modelo fisiológico contra impacto de influências ambientais.

A consequência mais notável da endogamia é a redução do valor médio fenotípico das características relacionadas à capacidade reprodutiva ou à eficiência fisiológica, fenômeno conhecido como “depressão da endogamia” (Falconer, 1960). Aumentando as taxas de homozigose, a endogamia traz à luz muitos dos genes recessivos que, de outra forma permaneceriam ocultos. A maioria dos recessivos tem efeitos menos desejáveis que seus alelos dominantes. Portanto, a endogamia abaixa o mérito genético dos animais endogâmicos (Lush, 1964). A depressão causada pela endogamia expressa de forma mais intensa nas características adaptativas (Falconer e Mackay, 1996). Muitas características de produção, como taxa de crescimento e eficiência alimentar, não sofrem tanto quanto outras o efeito do alto grau de endogamia, de forma que a depressão endogâmica não seria, em princípio, preocupante para este tipo de característica, em princípio. Pelo contrário, a adaptação, combinação de características de sobrevivência e reprodução, geralmente não é submetida à seleção diretamente, em razão de sua baixa herdabilidade, mas tem, entretanto, grande importância econômica e é muito influenciada pela depressão endogâmica. Assim, no curto e no médio prazo, a endogamia afetaria de forma mais intensa as características

adaptativas. Segundo Meuwissen e Woolliams (1994), deve ser ressaltado que essa depressão pode representar no presente, a mais séria restrição no aumento da endogamia, em populações submetidas à seleção.

1.2.2 Endogamia em codornas

De acordo com Lush (1964), a base mendeliana do efeito da endogamia pode ser ilustrada pelo acasalamento endogâmico continuado entre irmãos completos. A estimativa acurada do grau de endogamia em populações avícolas é essencial, pois a endogamia pode causar redução no desempenho, na fertilidade, menores viabilidade e taxa de eclosão, e piora em outras características produtivas e adaptativas, principalmente (Kulenkamp et al., 1973; Kim et al., 2007; Yeturk et al., 2008).

A primeira tentativa registrada para estudar o efeito da endogamia em aves de corte foi feita por Cole e Halpin em 1916. Eles realizaram, em frangos, acasalamentos entre irmãos completos por quatro anos, baseando a sua escolha na cor da plumagem das costas. Os resultados indicaram que houve declínio generalizado no desempenho das aves com o aumento gradual da taxa de endogamia. A baixa eclodibilidade obrigou os pesquisadores a interromperem a experiência na quarta geração de endogamia. Em outro experimento com a mesma espécie, Cole e Halpin realizaram novamente acasalamentos entre irmãos completos, realizando-se seleção com base na eclodibilidade dos ovos e viabilidade dos pintinhos. Embora os dados não tenham sido publicados, afirma-se que os autores em 1922, encontraram maior vitalidade geral do lote e menor produção de ovos nos lotes endogâmicos.

Goodale (1927), a partir dos resultados de seis gerações de acasalamentos entre irmãos completos, em galinhas leghorn branca, concluiu que não houve redução geral no peso dos pintos aos 30 dias de idade, houve aumento na idade das aves ao primeiro ovo, não houve redução no tamanho corporal, e houve diminuição bastante acentuada nos ciclos de produção anual e de inverno, sendo maior o decréscimo observado neste último. Em outro experimento com galinhas Leghorns brancas selecionadas para produção e peso dos ovos, Sewalem et al. (1999) mostraram que um aumento no coeficiente de endogamia da fêmea e do embrião resultaram em decréscimo nas características reprodutivas como número de ovos, fertilidade dos ovos e eclodibilidade média.

Dumon (1930) realizou acasalamento entre irmãos e de pai-filho em frangos de corte durante três anos, com seleção para taxa de eclosão. Mesmo com intensa seleção para esta característica, houve queda na taxa de eclosão de 72 para 33,5% dentro do período de avaliação. A mortalidade também foi maior na população endogâmica em relação ao grupo controle.

Narayan (1976) estudou o efeito da endogamia resultante dos acasalamentos entre irmão completos e primos de primeiro grau em seis gerações sobre o peso corporal e ganho de peso de codornas japonesas. Houve maior depressão da endogamia nas características avaliadas na descendência dos acasalamentos de irmãos completos em relação aos acasalamentos entre primos de primeiro grau. Da mesma forma, Sittmann et al. (1966), ao mensurarem variações no peso corporal em codornas japonesas resultantes de acasalamentos de parentes, concluíram que 10% de endogamia resultaram em reduções de 2 e 4 g no peso corporal de machos e fêmeas, na sexta semana de idade. Segundo os mesmos autores, codornas endogâmicas apresentaram crescimento mais lento em relação ao grupo controle.

Sittmann et al. (1966) também testaram o efeito da endogamia resultante do acasalamento de irmãos completos sobre características de adaptação, produção e reprodução em codornas japonesas. Houve declínio de 46% na eclodibilidade até a terceira geração, sendo que os efeitos maternos causaram declínio de aproximadamente 3% a cada aumento de 10% em F. A viabilidade, decresceu em torno de 0,8% e 1,9% em machos e fêmeas, respectivamente, entre as idades de 5 e 16 semanas, sendo a mortalidade de machos e fêmeas até a quinta semana aumentada em 2% e 4% pelo incremento de 10% de endogamia. Ao coeficiente de endogamia de 10% corresponderam decréscimos de fertilidade de aproximadamente 11%, dos quais 4% foram atribuídos à infertilidade completa dos machos. Estes autores relatam perda completa do desempenho reprodutivo e impossibilidade de reprodução, até a terceira geração endogâmica ($F = 0,5$) em razão da depressão causada pela endogamia.

Kulenkamp et al. (1973) conduziram experimento com acasalamentos regulares de irmãos completos de codornas japonesas. A partir do acasalamento de 95 casais do plantel do Departamento de Ciência Avícola da Universidade do Estado de Michigan, Estados Unidos, mantidas por mais de 20 gerações foram geradas 17 linhas de codornas com capacidade de formação de pelo menos um casal de irmãos completos. Todos os casais de irmãos completos formados foram mantidos no experimento. Apenas cinco

linhas restaram na quinta geração quando foi interrompido o experimento. Esses autores relatam não existir nenhuma linha de codornas japonesas descrita na literatura que sobreviveu a mais de oito gerações de acasalamentos regulares de irmãos completos.

Kim et al. (2007) investigaram em linhas endogâmicas de codornas japonesas estabelecidas na Universidade de British Columbia, Canadá, a acurácia de estimação do coeficiente de endogamia de métodos baseados na análise de pedigree e na análise de marcadores microssatélites. Os marcadores microssatélites têm a vantagem sobre outros marcadores moleculares de serem neutros (Van Oosterhout et al., 2004), não sendo dessa forma sujeitos à seleção e possibilitarem o estudo da endogamia na população. Também são ferramenta importante para estudo de variabilidade genética e endogamia em populações sem notação de pedigree. A endogamia dessas codornas foi obtida por um esquema de acasalamentos menos intenso entre primos o que levou a linha a 17 gerações ainda com vigor no momento do estudo. Além de demonstrarem que esquemas de acasalamentos endogâmicos menos intensivos são eficientes na obtenção de linhas endogâmicas os autores chegaram à conclusão que quando existe notação confiável do pedigree, ferramentas que os utilizam para estimação do coeficiente de endogamia são melhores do que informação de uma única geração de marcadores microssatélites.

Embora as codornas sejam consideradas aves mais sensíveis às altas taxas de endogamia, Souza (2009) demonstrou que programas de seleção poderiam ser delineados para causarem baixos incrementos nos graus de endogamia em codornas de corte. Mesmo considerando o pequeno intervalo de geração da espécie e a possibilidade de efetuar várias gerações de seleção em um mesmo ano, o F médio observado no estudo foi e 0,54% para o grupo genético UFV1 e 0,76% para o grupo genético UFV2.

1.2.3 Heterose

“Vigor híbrido” ou “heterose” são termos utilizados para definir a superioridade dos animais, obtida por exogamia, em relação à média de seus pais em mérito individual (Lush, 1964). Segundo Falconer e Mackay (1996), heterose é o fenômeno oposto ou complementar à depressão causada pela endogamia, bem conhecido em cruzamentos entre linhagens endogâmicas ou entre diferentes raças ou variedades, constituindo-se importante ferramenta para o melhoramento de plantas e animais. Para Willians et al. (2002), heterose é o resultado dos efeitos genéticos não aditivos e pode ser observada

tanto no desempenho geral quanto em características específicas. Em tese a magnitude da heterose está inversamente relacionada ao grau de semelhança genética entre populações parentais (Willham e Pollak, 1985) e é proporcional ao grau de heterozigose obtido nos cruzamentos (Sheridan, 1981).

A heterose é mensurada nas características expressas na geração F1, resultante do cruzamento de diferentes populações, em relação às mesmas características avaliadas na geração dos pais. Isso refletirá, específica ou generalizadamente, combinações de habilidades, que não são permanentes em razão da taxa de recombinação, entre outros fatores, que ocorrem nas gerações seguintes (Williams et al., 2002). A heterose pode variar nas características complexas e geralmente é maior para características reprodutivas (Fairfull, 1990), além de ser influenciada por efeitos maternos e dietéticos (Gram e Pirchner, 2001).

Deve-se considerar, contudo, que quando duas populações adaptadas a diferentes condições são cruzadas, os híbridos não são adaptados a ambas (Falconer e Mackay, 1996). Esses autores notaram que se alguns genes são dominantes em uma direção e os demais em outra, seus efeitos tendem a se cancelarem e nenhuma heterose será observada. Odeh et al. (2003) mostraram que as heteroses atribuídas a genes localizados no cromossomo sexual não são significantes para todos os cruzamentos recíprocos. Isso implica no fato de que há aumento na homozigose em cromossomos sexuais dentro de linhagens.

1.2.4 Heterose em codornas

Moritsu et al. (1997) realizaram experimento com codornas japonesas para detectar heterose em cruzamentos recíprocos entre seis linhas de aves sobre seleção divergente. Duas linhas foram selecionadas por 31 gerações utilizando como critério o peso das aves aos 28 dias de vida. A primeira linha foi selecionada para acréscimo em peso corporal (HW) e a outra para decréscimo em peso corporal (LW). Outras duas linhas foram selecionadas por 31 gerações utilizando como critério a concentração plasmática de fósforo total (FTP) no início da fase de postura uma vez que o fósforo está altamente correlacionado com as concentrações plasmáticas dos precursores da gema (Strong et al., 1978; Bacon e Nestor, 1982). A primeira linha foi selecionada para acréscimo em FTP (HP) e a outra para decréscimo em FTP (LP). As outras duas linhas

foram selecionadas a partir das aves da linha HW por 22 gerações, onde os machos foram selecionados para acréscimo no peso corporal aos 28 dias (HW) e as fêmeas foram selecionadas pelo FTP gerando uma linha pesada selecionada para acréscimo em FTP (HW-HP) e outra linha pesada selecionada para decréscimo em FTP (LW-LP). Esses autores encontraram heterose para a maioria das características estudadas ao gerar cruzamentos entre as linhas divergentes HW x LW, HP x LP e HW-HP x HW-LP. Além disso, os mesmos autores encontraram uma heterose negativa para mortalidade de 77% para o cruzamento HW x LW e 54,4% para os cruzamentos HP x LP.

A mortalidade é acrescida em 2 a 4 pontos percentuais a cada 10% no aumento de endogamia (Sittmann et al., 1966; Kulenkamp et al., 1973). Heterose exacerbada para características de sobrevivência podem ser observadas em decorrência da diminuição da endogamia nos cruzamentos. Marks (1995) encontrou heterose que variava de 12 a 47% para sobrevivência em cruzamentos de codornas selecionadas para incremento no ganho em peso à idade de seleção. Sato et al. (1989) observaram heterose de -18,5% para mortalidade em cruzamentos recíprocos de linhas altamente endogâmicas ($F = 92,5\%$). Elevadas taxas de mortalidade no período de crescimento podem gerar grandes prejuízos para o sistema de produção.

Moritsu et al. (1997) encontraram heterose para peso corporal em todos os grupos genéticos estudados com diferenças significativas entre os cruzamentos recíprocos o que mostra que há diferença na linha escolhida como linha fêmea. Chahil et al. (1975) não encontraram efeito materno significativo para peso aos 35 dias em cruzamentos dialélicos 3x3 de três populações em acasalamento ao acaso. Também em cruzamentos dialélicos, mas com linhas em seleção divergente para peso aos 28 dias de idade, Baik e Marks (1993) observaram diferenças significativas entre os cruzamentos recíprocos HW x LW e LW x HW e heterose negativa. Esses autores atribuíram os resultados ao maior progresso genético observado na linha leve (LW). Esses trabalhos mostram que apesar da heterose não ser esperadamente alta para características produtivas, como ganho em peso e peso corporal, é possível obter resultados muito favoráveis para os sistemas de produção de carne com a exploração dos cruzamentos.

Sato et al. (1989) encontram heterose de 32% para produção de ovos em cruzamentos recíprocos entre duas linhas altamente endogâmicas. Esse resultado está de acordo com os dados de Moritsu et al. (1997) que observaram heterose para produção de ovos que variava entre 22 a 44%. Os mesmos autores encontraram heterose para

idade à maturidade sexual que variava entre 6 a 18% em machos e 9 a 23% em fêmeas, e heterose de peso do ovo que variava entre 8 e 15% significativa em todos os cruzamentos. Chahil et al. (1975) concluíram que a combinação em cruzamentos de linhas acasaladas aleatoriamente ou selecionadas para características de crescimento proporcionou heterose de maturidade sexual e postura e que a linha utilizada como fêmea também é significativa, o que indica efeitos maternos. Gerken et al. (1988) observaram heterose negativa (5,5%) para idade à postura de 50% da produção total com evidencia de efeito materno. Esses estudos mostram a importância dos cruzamentos e da heterose para as características reprodutivas.

Ferreira et al. (2012) observaram heterose para sobrevivência em codornas europeias. Quando comparados os grupos puros com ambos os cruzamentos recíprocos quanto à sobrevivência até os 35 dias de vida a heterose foi de 9,54%. Para a sobrevivência do nascimento aos 7 dias de vida, período crítico para a produção dessas aves, a heterose foi de 12,83%. Esses autores também fizeram cruzamentos recíprocos entre duas linhas endogâmicas, ambas com coeficiente médio de endogamia de 25%. Nesse segundo experimento a heterose obtida para sobrevivência foi de 14,75%. Esses resultados não são altos como os encontrados por Moritsu et al. (1997) mas acordes com os resultados encontrados por Marks (1995) e Sato et al. (1989) mostrando ser também para codornas europeias a heterose ferramenta útil para evitar as perdas com mortalidade nos sistemas de produção.

Drumond (2012) realizaram estudo em cruzamentos dialélicos envolvendo quatro linhas de codornas europeias com aptidão para corte. Esses autores avaliaram o potencial de cruzamentos em codornas de corte, e o controle gênico das características de desempenho, rendimento de carcaça, produção e qualidade de ovos. Foi observada predominância de efeitos genéticos aditivos e os autores conseguiram indicar os melhores cruzamentos para diferentes objetivos de criação.

1.3 LITERATURA CITADA

BACON, W.L.; NESTOR, K.E. Divergent selection for body weight and yolk precursor in *Coturnix coturnix japonica*. 2. Correlated responses in plasma lipoprotein and lipids. *Poultry Science*, v.61, p.161–165, 1982.

BAIK, D. H.; MARKS, H.L. Divergent selection for growth in Japanese quail under split and complete nutritional environments. 7. Heterosis and combining ability among diallel crosses following twenty-seven generations of selection. *Poultry Science*, v.72, p.1449–1458, 1993.

BERTECHINI, A.G. Situação atual e perspectivas para a coturnicultura no Brasil. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE COTURNICULTURA, 4., CONGRESSO BRASILEIRO DE COTURNICULTURA, 3., 2010, Lavras. *Anais...* Lavras: UFLA/DZO, 2010. p.9-14.

CHAHIL, P.S.; JOHNSON, W.A.; SCHILLING, P.E. Combining ability in a diallel cross of three lines of *Coturnix coturnix japonica*. *Poultry Science*, v.54, p.1844–1849, 1975.

COLE, L. Jo, e HALPIN, J. G. Preliminary report of results of an experiment on close inbreeding in fowls. *Journal of the American Association Industry and Investments*, v. 3, p.7-8, 1922.

CROW, J. F. e KIMURA, M. *An introduction to population genetics theory*. New York: Harper and Row, 1970.

CRUZ, C.D. *Aplicação de algumas técnicas multivariadas no melhoramento de plantas*. 1990. 188f. Dissertação (Doutorado em Genética e Melhoramento) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

DUMON, A. G., The effects of inbreeding on hatchability. WORLD'S POULTRY CONGRESS, 4., 1930, London. *Anais...* London: Proceedings p. 1-5, 1930.

DRUMOND, E. S. C. *Avaliação de codornas de corte em cruzamentos dialélicos*. 2012. 48f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina.

FAIRFULL, R. W. Heterosis. *Poultry Breeding and Genetics*. R. D. Crawford, ed. Elsevier Science, p. 913–934, Amsterdam, 1990.

FALCONER, D.S.; MACKAY, T.F. *Introduction to Quantitative Genetics*. Addison-Wesley, Essex, UK, 1996.

FERREIRA, V.C.; GODINHO, R.M.; TEOTONIO, H.C., et al. Sobrevivência de codornas de corte do nascimento aos 35 dias de idade: efeitos heteróticos e de peso do animal. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO ANIMAL, 9., 2012, João Pessoa. *Anais...* João Pessoa: Sociedade Brasileira de Melhoramento Animal, 2012.

FERREIRA, V.C.; GODINHO, R.M.; FERNANDES, A.F.A., et al. Efeito de diferentes níveis de heterose na sobrevivência inicial de codornas de corte. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO ANIMAL, 9., 2012, João Pessoa. *Anais...* João Pessoa: Sociedade Brasileira de Melhoramento Animal, 2012.

GERKEN, M.; ZIMMER, S.; PETERSON, J. Juvenile body weight and gonad development in a diallel cross among lines of Japanese quail (*Coturnix coturnix japonica*). *Theoretical Applied Genetics*, v.76, p.775–780, 1988.

GOODALE, H.I. Some phases of reproduction in the domestic fowl. WORLD'S POULTRY CONGRESS, 3., 1927, Ottawa. *Anais...* Ottawa: Proceedings, 1927. p.87-92.

GRAM, R.; PIRCHNER, F. Components of heterosis forfeed conversion to egg mass. *Archiv fur Gefluogelkunde*, v.65, p.153–156, 2001.

KIM, S.H.; et. al., Inbreeding in Japanese Quail Estimated by Pedigree and Microsatellite Analyses. *Journal of Heredity*, v.98, p.378–381, 2007.

KNIZETOVA, H.; HYÁNER, J.; KNIZE, B.; et al. Analysis of growth curves of fowl. I – Chickens. *Poultry Science*, v.32, p.1027-1038, 1991.

KULENKAMP, A.W.; KULENKAMP, C.M.; COLEMAN, T.H. The effects of intensive inbreeding (brother x sister) on various traits in Japanese quail. *Poultry Science*, v.52, p.1240–1246, 1973.

LAMBERT W.V., The Inbreeding Problem in Poultry, *Journal of Animal Science*, v. 1931, p.120-126., 1931.

LUSH, J. L., *Melhoramento genético dos animais domésticos*, Rio de Janeiro, 1964.

MÁLECOT, G. *Lés mathématiques de Le heredité*. Paris Masson e Cié, 1948

MARKS, H.L. Heterosis and overdominance following long-term selection for body weight in Japanese quail. *Poultry Science*, v.74, p.1730–1744, 1995.

MARTINS, E.N. Perspectivas do melhoramento genético de codornas no Brasil. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE COTURNICULTURA, 1., 2002, Lavras. *Anais...* Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2002. p.204-208.

MORITSU, Y.; NESTOR, K.E.; NOBLE, D.O.; ANTHONY, N.B.; BACON, W.L. Divergent Selection for Body Weight and Yolk Precursor in *Coturnix coturnix japonica*. 12. Heterosis in Reciprocal Crosses Between Divergently Selected Lines. *Poultry Science*, v.76, p.437–444, 1997.

MEUWISSEN, T.H.E.; e WOOLLIAMS, J.A., Effective sizes of livestock populations to prevent a decline in fitness. *Theoretical and applied Genetics*, v.89, p.1019-1026, 1994.

NARAYAN, A. D., Effects of different rates of inbreeding on the body weight and rate of gain of Japanese quail. *British Poultry Science*, vol. 17, p.303 – 311, 1976

NORBERG, E. E SORESSEN, A.C., Inbreeding trend and inbreeding depression in the Danish populations of Texel, Shropshire, and Oxford Down, *Journal of Animal Science*, v.85, p.299-304, 2007.

ODEH F.M., CADD G.G., E SATTERLEE D.G., Genetic Characterization of Stress Responsiveness in Japanese quail. 2. Analyses of Maternal Effects, Additive Sex Linkage effects, Heterosis, and Heritability by Diallel Crosses, *Poultry Science*, V.82 p.31-35, 2003

OLIVEIRA, J.A.; BASTOS, J.F.P.; TONHATI, H. Endogamia em um rebanho da raça Guzerá. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.28, n.4, p.721-728, 1999.

PIRCHENER, F., Genetic structure of populations. 1. *Closed populations or matings among related individual*. In: Chapman, A.B. General and quantitative genetics. Amsterdam: Elsevier p.227-248., 1985.

SATO, K.; FUKUDA, H.; HEDIANTO, Y. E.; INO, T. Research Note: Heterosis for reproductive traits in reciprocal crosses of highly inbred lines of Japanese quail. *Poultry Science*, v.26, p.70–73, 1989.

SEWALEM, A.; JOHANSSON, K.; WILHELMSON, M.; LILLPERS, K. Inbreeding and inbreeding depression on reproduction and production traits of White Leghorn lines selected for egg production traits. *British Poultry Science*, 40: 203-208. 1999.

SHERIDAN, A. K. Crossbreeding and heterosis. *Animal Breeding*, v.49, p.131–144, 1981.

SILVA, M.V.G.B.; FERREIRA, W.J.F.; COBUCI, J.A. et al. Efeito da endogamia sobre características produtivas e reprodutivas de bovinos do ecótipo Mantiqueira. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.30, n.4, p.1236-1242, 2001.

SITTMANN, K.; ABPLANALP, B; FRASER, R.A. Inbreeding depression in Japanese quail. *Genetics*, v.54, p.371–379, 1966.

SOUZA, M. F. *Avaliação da endogamia em um programa de melhoramento de codornas de corte*. 2009. 33f Dissertação (Mestrado em Zootecnia). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

STRONG, C.F.; NESTOR, Jr.K.E.; BACON, W.L. Inheritance of egg production, egg weight, body weight and certain plasma constituents in *Coturnix*. *Poultry Science*, v.57, p.1–9, 1978.

VALI, N. The japanese quail: a review. *International Journal of Poultry Science*, v.7, p.925-931, 2008.

VAN OOSTERHOUT, C.; VAN HEUVEN, M.K.; BRAKEFIELD, P.M. On the neutrality of molecular genetic markers: pedigree analysis of genetic variation in fragmented populations. *Molecular Ecology*, v.13, p.1025-1034, 2004.

WILLHAM, R.L.; POLLAK, E. Heterosis and crossbreeding. *Dairy Science*, v. 68, p.2411–2417, 1985.

WILLIAMS, S.M.; PRICE S.E.; SIEGEL, P.B. Heterosis of Growth and Reproductive Traits in Fowl. *Poultry Science*, v.81, p.1109–1112, 2002.

WRIGHT, S. Coefficients of inbreeding and relationship. *American Naturalist*, v.56, p.330-338, 1922.

CAPÍTULO 2: Efeito da endogamia sobre características produtivas e reprodutivas em codornas de corte *Coturnix coturnix coturnix*

Resumo: A endogamia influi negativamente nas características economicamente importantes dos animais de produção, geralmente relacionadas à adaptabilidade, fertilidade e viabilidade. Em populações pequenas, situação comum nos sistemas de produção de codornas, é impossível evitar a endogamia. Este estudo foi conduzido para avaliar os efeitos da endogamia sobre características produtivas e reprodutivas de codornas de corte de duas linhagens. Acasalamentos regulares entre irmãos foram conduzidos durante três anos (2011 a 2013) nas dependências do Programa de Melhoramento de Codornas de Corte do departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Minas Gerais. Um total de 15 machos e 15 fêmeas de cada linhagem, EV1 e EV2, foi amostrado do plantel do programa e acasalado aleatoriamente na proporção de um macho para uma fêmea para gerar duas linhas puras não endogâmicas de famílias de irmãos completos ($F=0$). As demais linhas endogâmicas foram obtidas a partir dessa geração base ($F=0$) pelo acasalamento regular de irmãos completos dando origem a quatro gerações consecutivas endogâmicas (0,25; 0,375; 0,5 e 0,594). Posteriormente, codornas amostradas do plantel base (EV1 e EV2) e acasaladas aleatoriamente na proporção de um macho para três fêmeas para gerar duas linhas não endogâmicas ($F=0$). A partir destas duas linhas não endogâmicas foram obtidas quatro gerações por meio de acasalamento regular de meio irmãos paternos com coeficientes de endogamia de 0,125; 0,219; 0,305 e 0,385, respectivamente. As codornas foram anilhadas ao nascimento para controle do pedigree e mantidas em gaiolas coletivas do nascimento aos 35 dias de vida e em gaiolas individuais dos 35 aos 125 dias de vida recebendo dietas compostas de 28 e 23,9% de proteína bruta nos períodos de crescimento e postura, respectivamente. As características avaliadas foram peso corporal, mortalidade, idade ao primeiro ovo e produção de ovos. Os dados coletados foram submetidos à análise de variância e posteriormente análise de regressão utilizando para teste de hipótese o nível de 5% de significância. O desempenho das codornas foi inversamente proporcional ao coeficiente de endogamia e alta depressão endogâmica nas características foi evidenciada. A baixa fertilidade, baixa eclodibilidade e alta mortalidade conduziram as linhas à extinção que ocorreu na quarta geração de endogamia, por dificuldade de formar casais de irmãos para a reprodução.

Palavras-chave: avicultura, codorna europeia, consanguinidade, meio-irmão, irmão-completo, sistema de acasalamento

CHAPTER 1: Effect of inbreeding on production and reproductive characteristics of meat type quail

Abstract: Inbreeding negatively affects livestock economic important traits on majority related to fitness, fertility and viability. In small populations, as is common in quail production systems, it is impossible to avoid inbreeding. This study was carried out to evaluate the effects of inbreeding on productive and reproductive traits of two meat type quail strains. Regular sib mates were carried out for three consecutive years (2011-2013) in the Meat Quail Improvement Program at the Animal Science Department of Veterinary School of Federal University of Minas Gerais State. A total of 15 males and 15 females of each line, EV1 and EV2, were sampled from non related quails of the program and randomly mated using a proportion of one male to one female to generate two pure non inbred lines of full sib families ($F=0$). The generations with inbreeding coefficient of 0.25, 0.375, 0.5 and 0.594 were obtained by regular full sib mating. Two flocks of non inbred half sib lines (EV1 and EV2) were also obtained by mating non inbred quails in a proportion of one male to three females ($F=0$). Four successive inbred generations (0.125, 0.219, 0.305 and 0.385) were also obtained by regular half sib mating. The quails were completely pedigreed at hatch and kept in group cages from hatch to 35 days of age and in individual cages from 35 to 125 days of age. Quails were fed 28 and 23.9% crude protein diet during the growing and laying period, respectively. Body weight, mortality, age at first egg and total egg production were recorded. All traits data were submitted to analyses of variance (ANOVA) and regression analyses using for hypotheses tests a significance level of 5%. Quail performance was inversely proportional to inbreeding coefficient and a highly inbreeding depression on the traits was evidenced. Low fertility, low hatchability and high mortality conducted the lines to extinction in the fourth generation due to difficulty in forming sib mates.

Keywords: breeding system, European quail, full-sib, half-sib, inbreeding, poultry

2.1 INTRODUÇÃO

A criação de codornas foi introduzida no Brasil no início da década de 60, visando principalmente, a produção e a comercialização de ovos "in natura" (Conti, 2007). Nos últimos anos é crescente o seu desenvolvimento que fez com que a atividade evoluísse de um estado puramente de subsistência, praticada por pequenos criadores, a uma atividade de cunho produtivo, altamente tecnicizada (Pastore et al., 2012). A expansão tem encontrado barreiras nas limitações dos matrizeiros aos incrementos anuais de produção dos pintinhos (Bertechini, 2010). Para expansão da coturnicultura seria fundamental que houvesse tanto a expansão das instalações, bem como desenvolvimento de programas de melhoramento genético capazes de disponibilizar material genético de qualidade.

A endogamia, acasalamento de indivíduos aparentados, causa acréscimo do número de genes em homozigose e decréscimo dos genes em heterozigose levando a alteração das frequências genotípicas da população (Falconer e Mackay, 1996). O mesmo não ocorre com as frequências gênicas. A endogamia pode ser observada em populações grandes na ausência de deriva, quando existe acasalamento de animais aparentados. Porém, evitar acasalamentos de indivíduos aparentados em uma população finita é impossível, e quanto menor o tamanho da população, mais frequentes serão os acasalamentos de indivíduos aparentados.

Em populações pequenas, a endogamia pode causar, pela deriva genética, mudanças aleatórias nas frequências alélicas ao longo das gerações em decorrência do tamanho finito da população levando à perda de alelos. Portanto, ela pode causar grandes prejuízos em plantéis pequenos e de ciclos curtos como o de codornas. Embora seja um sistema de acasalamento capaz de alterar a constituição genotípica da população possibilitando a fixação de alelos desejáveis e a concentração de características desejáveis em grupos de animais, a endogamia aumenta o aparecimento dos efeitos deletérios de genes recessivos na população (Breda et al., 2004).

O coeficiente de endogamia (F) de um indivíduo representa a probabilidade de em um loco, tomado aleatoriamente em um indivíduo, existir dois alelos idênticos por ascendência (Malécot, 1948; Falconer e Mackay, 1996). O F pode ser calculado indiretamente pelo tamanho efetivo da população sendo igual ao inverso de duas vezes

o tamanho efetivo da população ($1/2N_e$) ou diretamente por meio de análise de pedigree sendo a metade do coeficiente de parentesco (R) de seus pais, que é a porcentagem de genes em comum entre eles, mais metade do F de cada um dos pais caso estes sejam endogâmicos. O F médio de uma população é calculado em relação a uma população na qual se assume que os indivíduos não são relacionados, conhecida como população base na qual os acasalamentos ocorrem ao acaso. Dessa forma, plantéis com muitas gerações de pedigree documentadas tenderão a apresentar maior F médio, e plantéis onde apenas recentemente passou-se a tomar nota do pedigree tenderão a ter F médio baixo (Croquet et al., 2007).

Crítérios de seleção em sistemas de produção de codornas são, em sua maioria, determinados por caracteres fenotípicos o que pode gerar a endogamia. A endogamia influi nos caracteres importantes economicamente e, em sua maioria, relacionados à adaptabilidade, fertilidade, reprodução e viabilidade dos indivíduos (Hill, 1971; Queiroz et al., 2000; Santana e Josahkian, 2011). Além disso, pode também ocorrer o comprometimento de características de desempenho principalmente quando altos coeficientes de endogamia são observados (Queiroz et al., 2000). DeRose e Roff (1999) concluem que as características produtivas são menos influenciadas pela endogamia, isso decorre das características produtivas serem menos influenciadas pela dominância e mais pelo efeito genético aditivo. A depressão causada pela endogamia é específica de cada população, pois depende das frequências gênicas em cada uma delas (Kristensen et al., 2003).

Observa-se na literatura escassez de estudos acerca do efeito de elevadas taxas de endogamia sobre o desempenho produtivo e reprodutivo em codornas europeias *Coturnix coturnix coturnix* utilizadas para produção de carne, e a maior parte das informações disponíveis é proveniente de trabalhos de pesquisa mais antigos e em codornas japonesas *Coturnix coturnix japonica* utilizadas para produção de ovos (Sittmann et al., 1966; Kulenkamp et al., 1973; Chahil et al., 1975; Gerken et al., 1988; Sato et al., 1989; Baik e Marks, 1993; Marks, 1995; Moritsu et al., 1997). Observa-se também maior quantidade de estudos acerca do efeito da endogamia sobre características produtivas e reprodutivas em outras espécies.

Espera-se que, como consequência das taxas elevadas de endogamia, tenha-se perda parcial do ganho genético e redução do valor fenotípico médio evidenciadas, principalmente pelos caracteres relacionados à capacidade reprodutiva ou eficiência

fisiológica (Silva et al., 2001). A falta de programas de acasalamento eficientes e o fato de se trabalhar com rebanhos fechados têm sido causas predisponentes para o avanço contínuo do grau de endogamia e do número de animais endogâmicos. Em codornas de corte, a seleção é comumente praticada levando-se em consideração apenas o peso das aves. Isso indica que o incremento no coeficiente de endogamia em codornas deve ser evitado uma vez que, programas de melhoramento que praticam seleção a partir de uma única característica são mais propensos a terem altos incrementos nos coeficientes de endogamia (Oliveira et al., 1999).

Com isso, objetivou-se com este trabalho qualificar e quantificar o efeito da endogamia sobre características produtivas e reprodutivas de codornas europeias de duas linhagens de um programa de melhoramento genético.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

As informações utilizadas neste estudo foram geradas nas instalações do Programa de Melhoramento Genético de Codornas de Corte do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Minas Gerais durante os anos de 2011 a 2013. O experimento foi realizado com autorização do Conselho de Ética em Experimentação Animal (CETEA 184/2011). O programa dispõe de dois grupos genéticos, EV1 e EV2, de codornas europeias *Coturnix coturnix coturnix* onde foi praticada até o momento seleção para ganho de peso por 11 gerações. Para a formação da população base do presente estudo foram amostradas 60 aves do plantel, sendo 15 reprodutores e 15 reprodutrizas de cada um dos dois grupos genéticos do programa. Para essa população assumiu-se coeficiente de endogamia igual à zero, uma vez que o programa foi delineado para que não ocorressem incrementos acentuados de endogamia. Os grupos genéticos permaneceram isolados para geração dos altos incrementos de endogamia dentro dos grupos.

Incremento de endogamia

A avaliação dos efeitos causados pela endogamia foi proporcionada pelo incremento de elevados coeficientes de endogamia nas aves por meio de dois sistemas alternativos de acasalamentos regulares: entre meio irmãos paternos e entre irmãos completos de aves descendentes da população base.

No sistema de acasalamentos regulares entre irmãos completos as aves atingiram coeficientes de endogamia de 0,25, 0,375, 0,50, e 0,594 nas quatro gerações sucessivas, de acordo com a expressão $F_{n+2} = \frac{1}{4} + \frac{1}{4} F_n + \frac{1}{2} F_{n+1}$, em que F_n é igual ao coeficiente de endogamia da geração de interesse (Wright, 1921). Os acasalamentos foram na proporção de um macho para três fêmeas num total de 12 machos e 24 fêmeas de cada linhagem em gerações sucessivas.

No sistema de acasalamentos regulares entre meio irmãos as aves atingiram coeficientes de endogamia de 0,125, 0,219, 0,305 e 0,381 nas quatro gerações sucessivas, de acordo com a expressão $F_{n+2} = \frac{1}{8} (1 + 6 F_{n+1} + F_{n+1})$, em que F_n é igual ao coeficiente de endogamia da geração de interesse (Wright, 1921). Os acasalamentos foram na proporção de um macho para três fêmeas num total de 12 machos e 36 fêmeas de cada linhagem em gerações sucessivas.

Manejo e criação das aves

O manejo e a criação das aves seguiram os padrões adotados no programa de melhoramento genético de codornas de corte da EV/UFMG. Todos os acasalamentos desde a população base foram realizados de forma que o macho permaneceu na gaiola de cada fêmea durante um dia, cada fêmea tendo sua gaiola individual com calha própria para coleta de ovos e esta se iniciou dois dias após a fertilização da última fêmea. Os ovos foram coletados por 10 dias e incubados à temperatura de 37,8°C e 60% de umidade relativa por 17 dias.

Ao nascimento as codornas foram identificadas por anilhagem e alojadas em gaiolas comunitárias de aço galvanizado com capacidade para até 20 codornas. Durante o período de crescimento as codornas foram alimentadas *ad libitum* com dieta de crescimento contendo 28% de proteína bruta e 2900kcal de energia metabolizável e

receberam programa de luz de 24h (natural + artificial) durante todo o período de crescimento.

As aves foram pesadas semanalmente e, no 35º dia de vida, as fêmeas foram transferidas para gaiolas individuais, também de aço galvanizado, com calha para coleta de ovos onde foi feita anotação diária da postura, desde a idade ao primeiro ovo até que completassem 125 dias de idade. A mortalidade foi calculada percentualmente pela diferença entre o número de aves nas unidades experimentais nas idades avaliadas em relação ao número inicial de codornas. A produção de ovos foi tomada em três períodos consecutivos de 30 dias a partir dos 35 dias das aves sendo: PP1, a postura dos 36 aos 65 dias; PP2, a postura dos 66 aos 95 dias; PP3, a postura dos 96 aos 125 dias; e PA, a postura acumulada no período total de 90 dias. A maturidade sexual das fêmeas representa a idade em que as aves botaram o primeiro ovo, iniciando a fase reprodutiva. Para todas as características foram realizadas análise de variância para significância dos coeficientes e grau do polinômio e análise de regressão. O *software* MATLAB foi utilizado para obtenção das equações de regressão linear de predição via soluções de equações normais, representada por:

$\hat{y} = \mu + b X$, em que,

\hat{y} = desempenho previsto da codorna;

μ = média geral;

b = coeficiente linear de regressão do valor observado da característica em função do coeficiente de endogamia;

X = coeficiente de endogamia das aves.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O desempenho das aves foi inversamente proporcional ao grau de endogamia. O experimento foi interrompido após a quarta geração endogâmica de ambos os sistemas de acasalamentos regulares pela dificuldade de formar casais de irmãos (irmãos completos ou meio irmãos), em decorrência da alta mortalidade, baixa fertilidade e baixa eclodibilidade.

Peso corporal

No sistema de acasalamento de irmãos completos o banco de dados constituiu-se de 1795 informações de peso mensurados semanalmente do nascimento aos 35 dias de idade de 372 codornas da linhagem EV1, pertencentes a cinco gerações (Tabela 1). Aos 35 dias, idade de abate e seleção, as médias obtidas para o peso corporal das codornas com 0, 25, 37,5, 50 e 59,4% de endogamia foram 258,1, 232,2, 227,3, 224,8 e 223,0 g, respectivamente. Houve efeito linear negativo significativo do coeficiente de endogamia sobre o peso corporal das codornas aos 14, 28 e 35 dias de vida. O aumento de um ponto percentual no coeficiente de endogamia da ave gerou decréscimo de 0,38, 0,53 e 0,58 g no peso das mesmas aos 14, 28 e 35 dias, respectivamente (Tabela 1).

Tabela 1 - Número de observações (n), médias, desvios-padrão (σ) e equações de regressão dos pesos corporais (pc) das codornas da linhagem EV1 no sistema de irmãos completos de acordo com o coeficiente médio de endogamia (F, %) nas seis idades avaliadas

F (%)	0	25	37,5	50	59,4	0	25	37,5	50	59,4
Idade	Nascimento					7 dias				
n	136	108	48	42	38	124	71	43	41	30
Média	9,04	9,57	9,19	9,73	9,07	39,98	30,89	34,26	31,42	28,92
σ	0,88	1,06	1,50	0,63	0,91	6,45	9,09	9,48	6,65	8,28
Equação	NS					NS				
Idade	14 dias					21 dias				
n	120	67	39	38	28	120	62	39	34	28
Média	93,55	76,37	81,20	70,43	70,47	159,5	133,3	136,5	123,3	131,6
σ	12,40	18,65	21,98	14,57	14,42	20,33	26,20	35,78	23,92	25,34
Equação	pc14* = 91,45 - 0,38.F ($r^2 = 0,84$)					NS				
Idade	28 dias					35 dias				
n	114	60	39	32	28	114	56	38	31	27
Média	214,0	193,5	186,6	180,2	185,0	258,1	232,2	227,3	224,8	223,0
σ	20,88	25,50	39,16	25,52	25,47	33,65	28,38	37,92	27,46	27,65
Equação	pc28* = 210,20 - 0,53.F ($r^2 = 0,87$)					pc35* = 253,10 - 0,58.F ($r^2 = 0,88$)				

*p<0,05 pelo teste F; NS = não significativo; r^2 = coeficiente de determinação

No sistema de acasalamento de irmãos completos para a linhagem EV2 o banco de dados constituiu-se de 1416 informações de peso mensurados semanalmente do nascimento aos 35 dias de idade de 287 codornas, pertencentes a cinco gerações (Tabela 2). Aos 35 dias, idade de abate e seleção, as médias obtidas para o peso corporal das codornas com 0, 25, 37,5, 50 e 59,4% de endogamia foram 253,11, 229,77, 212,26, 190,19 e 171,70 g, respectivamente. Houve efeito linear negativo significativo do coeficiente de endogamia sobre o peso corporal das codornas o que é evidenciado pela regressão do peso das codornas aos 7, 14, 21, 28 e 35 dias de idade em função do coeficiente de endogamia (tabela 2). O aumento de um ponto percentual no coeficiente de endogamia da ave gerou decréscimo de 0,25, 0,62, 0,89, 1,18 e 1,23 g no peso das mesmas aos 7, 14, 21, 28 e 35 dias, respectivamente (Tabela 2).

Tabela 2 - Número de observações (n), médias, desvios-padrão (σ) e equações de regressão dos pesos corporais (pc) das codornas da linhagem EV2 no sistema de irmãos completos de acordo com o coeficiente médio de endogamia (F, %) nas seis idades avaliadas

F (%)	0	25	37,5	50	59,4	0	25	37,5	50	59,4
Idade	Nascimento					7 dias				
n	111	59	36	43	38	95	48	35	37	28
Média	8,8	9,4	9	7,7	8,1	37,6	30,3	31,1	24,9	21,8
σ	0,9	0,9	0,7	0,8	0,8	5	7	6,6	5,2	4,3
Equação	NS					pc7* = 37,86 - 0,25.F ($r^2 = 0,93$)				
Idade	14 dias					21 dias				
n	95	43	33	34	26	94	41	31	32	25
Média	89,6	76,1	70,6	58,3	53,3	152,5	133,5	121	106,6	101,5
σ	10,6	16,3	18,7	8,8	10,2	15	24,6	26,3	15,3	13,3
Equação	pc14* = 90,85 - 0,62.F ($r^2 = 0,98$)					pc21* = 153,62 - 0,89.F ($r^2 = 0,99$)				
Idade	28 dias					35 dias				
n	91	41	29	32	25	91	40	28	31	24
Média	207,9	185	168,2	146,7	140,7	253,1	229,8	212,3	190,2	171,7
σ	19,6	34,2	32,7	16,2	14,5	27,1	24	31,9	21,5	13,6
Equação	pc28* = 210,42 - 1,18.F ($r^2 = 0,98$)					pc35* = 256,02 - 1,23.F ($r^2 = 0,97$)				

*p<0,05 pelo teste F; NS = não significativo; r^2 = coeficiente de determinação

No sistema de acasalamento de meio irmãos o banco de dados constituiu-se de 4086 informações de peso mensurados semanalmente do nascimento aos 35 dias de idade de 808 codornas da linhagem EV1, pertencentes a cinco gerações (Tabela 3). Aos 35 dias, idade de abate e seleção, as médias obtidas para o peso corporal das codornas com 0, 12,5, 21,9, 30,5 e 38,5% de endogamia foram 236,6, 221,7, 219,3, 213,2 e 207,9 g, respectivamente. Houve efeito linear negativo significativo do coeficiente de endogamia sobre o peso corporal das codornas o que é evidenciado pela regressão do peso das codornas aos 7, 14, 21, 28 e 35 dias de idade em função do coeficiente de endogamia (Tabela 3). O aumento de um ponto percentual no coeficiente de endogamia da ave gerou decréscimo de 0,25; 0,56; 0,75; 0,96 e 0,70 g no peso das mesmas aos 7, 14, 21, 28 e 35 dias, respectivamente (Tabela 3).

Tabela 3 - Número de observações (n), médias, desvios-padrão (σ) e equações de regressão dos pesos corporais (pc) das codornas da linhagem EV1 no sistema de meio irmãos de acordo com o coeficiente médio de endogamia (F, %) nas seis idades avaliadas

F (%)	0	12,5	21,9	30,5	38,5	0	12,5	21,9	30,5	38,5
Idade	Nascimento					7 dias				
n	199	249	106	156	98	192	236	78	112	75
Média	10,03	8,98	9,20	8,11	8,66	33,63	33,18	31,34	28,62	23,71
σ	0,90	1,07	0,88	1,22	0,74	8,36	5,25	6,06	6,23	4,75
Equação	NS					pc7* = 35,21 - 0,25.F (r ² = 0,84)				
Idade	14 dias					21 dias				
n	186	230	73	106	72	185	225	73	100	64
Média	80,42	76,48	72,81	67,44	57,9	139,6	129,1	127,3	122,0	107,0
σ	14,28	11,60	11,69	15,72	12,8	18,14	18,76	15,87	20,49	26,01
Equação	pc14* = 82,50 - 0,56.F (r ² = 0,92)					pc21* = 140,52 - 0,75.F (r ² = 0,90)				
Idade	28 dias					35 dias				
n	184	224	73	100	63	183	224	73	98	62
Média	199,9	183,5	176,0	171,9	160,5	236,6	221,7	219,3	213,2	206,9
σ	18,85	21,65	21,12	26,78	26,01	20,42	23,54	18,65	31,44	26,68
Equação	pc28* = 198,18 - 0,96.F (r ² = 0,98)					pc35* = 234,29 - 0,70.F (r ² = 0,96)				

*p<0,05 pelo teste F; NS = não significativo; r² = coeficiente de determinação

No sistema de acasalamento de meio irmãos para a linhagem EV2 o banco de dados constituiu-se de 4024 informações de peso mensurados semanalmente do nascimento aos 35 dias de idade de 854 codornas da linhagem EV2, pertencentes a cinco gerações (Tabela 4). Aos 35 dias, idade de abate e seleção, as médias obtidas para o peso corporal das codornas com 0, 12,5, 21,9, 30,5 e 38,5% de endogamia foram 228,6; 217,2; 211,2; 210,0 e 200,4 g. Houve efeito linear negativo significativo do coeficiente de endogamia sobre o peso corporal das codornas o que é evidenciado pela regressão do peso das codornas aos 7, 14, 21, 28 e 35 dias de idade em função do coeficiente de endogamia (Tabela 4). O aumento de um ponto percentual no coeficiente de endogamia da ave gerou decréscimo de 0,25; 0,51; 0,63; 0,76 e 0,67 g no peso das mesmas aos 7, 14, 21, 28 e 35 dias, respectivamente (Tabela 4).

Tabela 4 - Número de observações (n), médias, desvios-padrão (σ) e equações de regressão dos pesos corporais (pc) das codornas da linhagem EV2 no sistema de meio irmãos de acordo com o coeficiente médio de endogamia (F, %) nas seis idades avaliadas

F (%)	0	12,5	21,9	30,5	38,5	0	12,5	21,9	30,5	38,5
Idade	Nascimento					7 dias				
n	107	255	126	284	82	105	229	113	175	63
Média	9,57	8,80	8,89	8,07	9,08	34,51	32,91	29,04	26,27	25,80
σ	1,04	0,86	0,86	1,08	0,90	6,14	5,07	7,33	6,66	6,47
Equação	NS					pc7* = 34,93 – 0,25.F (r ² = 0,95)				
Idade	14 dias					21 dias				
n	103	221	105	162	61	103	218	103	149	50
Média	78,10	76,30	70,73	63,72	59,6	133,2	128,6	123,1	115,1	109,5
σ	14,0	10,6	13,06	16,46	17,10	19,80	15,70	17,47	25,79	22,06
Equação	pc14* = 80,26 – 0,51.F (r ² = 0,94)					pc21* = 134,96 – 0,63.F (r ² = 0,97)				
Idade	28 dias					35 dias				
n	103	218	102	145	50	102	215	100	128	47
Média	192,2	179,1	171,8	166,1	163,1	228,6	217,2	211,2	210,0	200,4
σ	21,60	18,20	21,60	31,13	25,71	23,68	19,00	19,08	31,08	24,63
Equação	pc28* = 190,20 – 0,76.F (r ² = 0,98)					pc35* = 227,41 – 0,67.F (r ² = 0,95)				

*p<0,05 pelo teste F; NS = não significativo; r² = coeficiente de determinação

A depressão endogâmica sobre o peso corporal de codornas de corte (*Coturnix coturnix coturnix*) não foi evidenciada por Sousa (2009), ao avaliar a endogamia acumulada em um programa de melhoramento genético bem delineado para evitar o incremento de endogamia. As diferenças entre os resultados observados nos dois trabalhos científicos podem ser explicadas pelos níveis de endogamia muito menores (1,73% e 1,67%) do que os induzidos no presente estudo, que chegou a 59,4%.

Hill (1971) também observou depressão endogâmica na taxa de crescimento de suínos pertencentes a 146 linhagens Large White após incrementos de 40 a 50% de endogamia. Esses resultados mostram ser a depressão endogâmica também importante nas perdas em características produtivas nos sistemas de produção desses animais quando o incremento na endogamia é alto. Selvaggi et al. (2010), em ovinos da raça Laccese, observaram que o incremento de 10% de endogamia promove a redução de 190 gramas no peso corporal ao nascer e 31 gramas no peso corporal ao desmame de cordeiros.

Narayan (1976) estudou o efeito da endogamia resultante dos acasalamentos entre irmãos completos e primos de primeiro grau em seis gerações sobre o peso corporal e ganho em peso de codornas japonesas. Houve maior depressão da endogamia nas características avaliadas na descendência dos acasalamentos de irmãos completos em relação aos acasalamentos entre primos de primeiro grau.

Sittmann et al. (1966), ao mensurarem variações no peso corporal em codornas japonesas resultantes de acasalamentos de parentes, concluíram que 10% de endogamia resultaram em redução de 2,65 g no peso corporal das codornas, na sexta semana de idade, equivalente a 2,31% do peso das aves não endogâmicas. Segundo os mesmos autores, codornas endogâmicas apresentaram crescimento mais lento em relação ao grupo controle. No presente trabalho foi encontrada em média para as duas linhagens de codornas europeias nos dois sistemas de acasalamento uma redução de 7,95 g para um acréscimo de 10% no coeficiente de endogamia das aves, na quinta semana de idade, equivalente a 3,26% do peso das aves não endogâmicas. A depressão endogâmica no peso corporal das aves do presente trabalho foi maior que a encontrada por Sittmann et al. (1966).

Mortalidade

No sistema de acasalamentos de irmãos completos para as codornas da linhagem EV1, as mortalidades no período total avaliado foram 16,18; 48,15; 20,83; 26,19 e 28,95% para os níveis de 0, 25, 37,5, 50 e 59,4% de endogamia, respectivamente. Para as codornas da linhagem EV2, as mortalidades no período total avaliado foram 18,02; 32,20; 22,22; 27,91 e 36,84% para os níveis de 0, 25, 37,5, 50 e 59,4% de endogamia, respectivamente (Tabela 5). Não houve efeito linear significativo do coeficiente de endogamia sobre a mortalidade das aves nesse sistema de acasalamento em nenhuma das idades avaliadas.

Tabela 5 - Número de observações (n), mortalidade (m, %) e equações de regressão das codornas das linhagens EV1 e EV2 submetidas aos acasalamentos de irmãos completos de acordo com o coeficiente médio de endogamia (F, %) nas seis idades avaliadas

Linha	EV1					EV2				
F (%)	0	25	37,5	50	59,4	0	25	37,5	50	59,4
Idade	Nascimento									
n	136	108	48	42	38	111	59	36	43	38
Idade	7 dias									
n	124	71	43	41	30	95	48	35	37	28
m (%)	8,82	34,26	10,42	2,38	21,05	14,41	18,64	2,78	13,95	26,32
Equação	NS					NS				
Idade	14 dias									
n	120	67	39	38	28	95	43	33	34	26
m (%)	11,76	37,96	18,75	9,52	26,32	14,41	27,12	8,33	20,93	31,58
Equação	NS					NS				
Idade	21 dias									
n	120	62	39	34	28	94	41	31	32	25
m (%)	11,76	42,59	18,75	19,05	26,32	15,32	30,51	13,89	25,58	34,21
Equação	NS					NS				
Idade	28 dias									
n	114	60	39	32	28	91	41	29	32	25
m (%)	16,18	44,44	18,75	23,81	26,32	18,02	30,51	19,44	25,58	34,21
Equação	NS					NS				

NS = não significativo

Tabela 5 - Número de observações (n), mortalidade (m, %) e equações de regressão das codornas das linhagens EV1 e EV2 submetidas aos acasalamentos de irmãos completos de acordo com o coeficiente médio de endogamia (F, %) nas seis idades avaliadas (continuação)

Linha	EV1					EV2				
F (%)	0	25	37,5	50	59,4	0	25	37,5	50	59,4
Idade	35 dias									
n	114	56	38	31	27	91	40	28	31	24
m (%)	16,18	48,15	20,83	26,19	28,95	18,02	32,20	22,22	27,91	36,84
Equação	NS					NS				

NS = não significativo

No sistema de acasalamentos de meio irmãos para as codornas da linhagem EV1, as mortalidades no período total avaliado foram 8,04; 10,04; 31,13; 37,18 e 36,74% para os níveis de 0, 12,5, 21,9, 30,5 e 38,5% de endogamia, respectivamente (Tabela 6). Para as codornas da linhagem EV2, as mortalidades no período total avaliado foram 4,67; 15,69; 20,63; 54,93 e 42,68% para os níveis de 0, 12,5, 21,9, 30,5 e 38,5% de endogamia, respectivamente (Tabela 6).

Tabela 6 - Número de observações (n), mortalidade (m, %) e equações de regressão das codornas das linhagens EV1 e EV2 submetidas aos acasalamentos de meio irmãos de acordo com o coeficiente médio de endogamia (F, %) nas seis idades avaliadas

Linha	EV1					EV2				
F (%)	0	12,5	21,9	30,5	38,5	0	12,5	21,9	30,5	38,5
Idade	Nascimento									
n	199	249	106	156	98	107	255	126	284	82
Idade	7 dias									
n	192	236	78	112	75	105	229	113	175	63
m (%)	3,52	5,22	26,42	28,21	23,47	1,87	10,19	10,32	38,38	23,17
Equação	NS					NS				
Idade	14 dias									
n	186	230	73	106	72	103	221	105	162	61
m (%)	6,53	7,63	31,13	32,05	26,53	3,74	13,33	16,67	42,96	25,61
Equação	NS					NS				

* $p < 0,05$ pelo teste F; NS = não significativo; r^2 = coeficiente de determinação

Tabela 6 - Número de observações (n), mortalidade (m, %) e equações de regressão das codornas das linhagens EV1 e EV2 submetidas aos acasalamentos de meio irmãos de acordo com o coeficiente médio de endogamia (F, %) nas seis idades avaliadas (continuação)

Linha	EV1					EV2				
F (%)	0	12,5	21,9	30,5	38,5	0	12,5	21,9	30,5	38,5
Idade	21 dias									
n	185	225	73	100	64	103	218	103	149	50
m (%)	7,04	9,64	31,13	35,89	34,69	3,74	14,51	18,25	47,54	39,02
Equação	$m_{21}^* = 5,86 + 0,86.F$ ($r^2 = 0,84$)					$m_{21}^* = 2,15 + 1,09.F$ ($r^2 = 0,82$)				
Idade	28 dias									
n	184	224	73	100	63	103	218	102	145	50
m (%)	7,54	10,04	31,13	35,89	35,71	3,74	14,51	19,05	48,94	39,02
Equação	$m_{28}^* = 6,14 + 0,87.F$ ($r^2 = 0,86$)					$m_{28}^* = 2,26 + 1,10.F$ ($r^2 = 0,81$)				
Idade	35 dias									
n	183	224	73	98	62	102	215	100	128	47
m (%)	8,04	10,04	31,13	37,18	36,74	4,67	15,69	20,63	54,93	42,68
Equação	$m_{35}^* = 6,23 + 0,89.F$ ($r^2 = 0,86$)					$m_{35}^* = 2,72 + 1,21.F$ ($r^2 = 0,79$)				

* $p < 0,05$ pelo teste F; NS = não significativo; r^2 = coeficiente de determinação

Houve efeito linear significativo do coeficiente de endogamia sobre a mortalidade das aves nesse sistema de acasalamento aos 21, 28 e 35 dias de idade das aves. O aumento em um ponto percentual no coeficiente de endogamia das aves acarretou aumentos de 0,86; 0,87 e 0,89 ponto percentual na mortalidade das aves da linhagem EV1 aos 21, 28 e 35 dias de vida, respectivamente, e em aumentos de 1,09; 1,10 e 1,21 ponto percentual na mortalidade das aves da linhagem EV2 aos 21, 28 e 35 dias de vida, respectivamente.

Sittmann et al. (1966) também testaram o efeito da endogamia resultante do acasalamento de irmãos completos em codornas japonesas, por três gerações ($F=0,5$) sobre a mortalidade das codornas. Estes autores encontraram mortalidade aos 35 dias de vida das aves de 17,2; 25,8; 40,9 e 71,4% para codornas com 0, 25, 37,5 e 50% de coeficiente de endogamia, respectivamente. A mortalidade aumentou em 10,84% para cada aumento em 10% no coeficiente de endogamia das aves. No presente trabalho foram observadas, em média, para as duas linhagens, mortalidades aos 35 dias de vida

das aves de 17,1; 40,2; 21,5; e 27,1% para codornas com 0, 25, 37,5 e 50% de coeficiente de endogamia, respectivamente. Não foi observado efeito linear da endogamia sobre a mortalidade das aves no sistema de acasalamento de irmãos completos. Já nas aves do sistema de acasalamentos de meio irmãos foi observado aumento de 10,5% na mortalidade para cada aumento de 10% no coeficiente de endogamia das codornas, resultado muito semelhante ao encontrado por Sittmann et al. (1966).

Produção de Ovos e Maturidade sexual

No sistema de acasalamentos de irmãos completos para as codornas da linhagem EV1, as idades ao primeiro ovo foram em média 42,90; 46,15; 47,55; e 48,84 dias para os níveis de 0, 25, 37,5 e 50 de endogamia, respectivamente (Tabela 7). As posturas acumuladas no período de 90 dias foram em média 69,95; 66,58; 58,54; e 56,81 ovos para os níveis de 0, 25, 37,5, e 50% de endogamia, respectivamente. Houve efeito linear significativo do coeficiente de endogamia das aves na idade ao primeiro ovo, produção de ovos no primeiro mês e produção de ovos no período total avaliado.

Tabela 7. Média da idade ao primeiro ovo (IPO), produção de ovos no período (PP) e postura acumulada (PA) de codornas de corte EV1 submetidas ao acasalamento de irmãos completos de acordo com o coeficiente de endogamia (F, %) e equações de regressão

F (%)	IPO	PP1	PP2	PP3	PA
0	42,90	19,13	23,09	26,52	69,95
25	46,15	14,73	25,33	25,64	66,58
37,5	47,55	13,31	21,94	23,16	58,54
50	48,84	10,36	23,50	22,93	56,81

Característica	Equação	
IPO	$ipo^* = 42,99 + 0,12.F$	$r^2 = 0,99$
PP1	$pp1^* = 19,17 - 0,17.F$	$r^2 = 0,99$
PP2	NS	-
PP3	NS	-
PA	$pp2^* = 70,87 - 0,28.F$	$r^2 = 0,90$

* $p < 0,05$ pelo teste F; NS = não significativo; r^2 = coeficiente de determinação; PP1 = postura no primeiro mês; PP2 = postura no segundo mês; PP3 = postura no terceiro mês

No sistema de acasalamentos de irmãos completos para as codornas da linhagem EV2, as idades ao primeiro ovo foram em média 41,50; 44,05; 46,42; e 52,37 dias para os níveis de 0, 25, 37,5 e 50 de endogamia, respectivamente (Tabela 8). As posturas acumuladas no período de 90 dias foram em média 74,94; 72,61; 71,90; e 71,25 ovos para os níveis de 0, 25, 37,5, e 50% de endogamia, respectivamente. Houve efeito linear significativo do coeficiente de endogamia das aves na idade ao primeiro ovo, produção de ovos no primeiro mês e produção de ovos no período total avaliado.

Tabela 8. Média da idade ao primeiro ovo (IPO), Produção de ovos no Período (PP) e postura acumulada (PA) de codornas de corte EV2 submetidas ao acasalamento de irmãos completos de acordo com o coeficiente de endogamia (F, %) e equações de regressão

F (%)	IPO	PP1	PP2	PP3	PA
0	41,50	19,40	27,05	27,78	74,94
25	44,05	17,57	27,27	27,83	72,61
37,5	46,42	16,86	26,35	27,66	71,90
50	52,37	14,42	26,50	27,20	71,25
Equações de Regressão Linear					
IPO	ipo* = 40,41 + 0,20 X			R ² = 0,86	
PP1	pp1* = 19,68 - 0,09 X			R ² = 0,92	
PP2	NS			-	
PP3	NS			-	
PA	pa* = 74,77 - 0,075 X			R ² = 0,99	

*p<0,05 pelo teste F; NS = não significativo; r² = coeficiente de determinação; PP1 = postura no primeiro mês; PP2 = postura no segundo mês; PP3 = postura no terceiro mês

No sistema de acasalamentos de meio irmãos para as codornas da linhagem EV1, as idades ao primeiro ovo foram 46,39; 53,76 e 53,23 dias para os níveis de 0, 12,5, e 21,9% de endogamia, respectivamente (Tabela 9). As posturas acumuladas no período de 90 dias foram 62,85; 56,76; e 56,12 ovos para os níveis de 0, 12,5, e 21,9% de endogamia, respectivamente. Houve efeito linear significativo do coeficiente de endogamia das aves na produção de ovos no primeiro e no segundo mês e na produção de ovos no período total avaliado.

Tabela 9. Média da idade ao primeiro ovo (IPO), Produção de ovos no Período (PP) e postura acumulada (PA) de codornas de corte EV1 submetidas ao acasalamento de meio irmãos de acordo com o coeficiente de endogamia (F, %) e equações de regressão

F (%)	IPO	PP1	PP2	PP3	PA
0	46,39	13,61	25,19	25,59	62,85
12,5	53,76	10,99	23,25	22,11	56,76
21,9	53,23	10,19	20,79	21,32	56,12
Equações de Regressão					
IPO	NS			-	
PP1	pp1* = 13,42 - 0,16 X			R ² = 0,95	
PP2	pp2* = 25,35 - 0,20 X			R ² = 0,98	
PP3	NS			-	
PA	pa* = 63,39 - 0,63 X			R ² = 0,98	

*p<0,05 pelo teste F; NS = não significativo; r² = coeficiente de determinação; PP1 = postura no primeiro mês; PP2 = postura no segundo mês; PP3 = postura no terceiro mês

No sistema de acasalamentos de meio irmãos para as codornas da linhagem EV2, as idades ao primeiro ovo foram 49,84; 50,17 e 51,21 dias para os níveis de 0, 12,5, e 21,9% de endogamia, respectivamente (Tabela 10). As posturas acumuladas no período de 90 dias foram 64,81; 62,82; e 60,00 ovos para os níveis de 0, 12,5, e 21,9% de endogamia, respectivamente. Houve efeito linear significativo do coeficiente de endogamia das aves na produção de ovos no primeiro mês e na produção de ovos no período total avaliado.

Tabela 10. Média da idade ao primeiro ovo (IPO), Produção de ovos no Período (PP) e postura acumulada (PA) de codornas de corte EV2 submetidas ao acasalamento de meio irmãos de acordo com o coeficiente de endogamia (F, %) e equações de regressão

F (%)	IPO	PP1	PP2	PP3	PA
0	49,84	14,16	25,72	26,19	64,81
12,5	50,17	13,26	25,14	23,67	62,82
21,9	51,21	12,58	22,37	23,79	60,00
Equações de Regressão					
IPO	NS			-	
PP1	pp1* = 14,16 - 0,07 X			R ² = 0,99	
PP2	NS			-	
PP3	NS			-	
PA	pa* = 65,02 - 0,22 X			R ² = 0,92	

*p<0,05 pelo teste F; NS = não significativo; r² = coeficiente de determinação; PP1 = postura no primeiro mês; PP2 = postura no segundo mês; PP3 = postura no terceiro mês

Em estudo realizado por Sittmann et al. (1966) com codornas de postura (*Coturnix coturnix japonica*), os resultados mostraram acréscimos de 2,2 dias na idade ao primeiro ovo e diminuição de 3,5 ovos na produção total de ovos por incremento de 10% no coeficiente de endogamia. No presente trabalho foi encontrado, em média, um acréscimo de 1,7 dias na idade ao primeiro ovo e diminuição de três ovos na produção total de ovos para cada incremento de 10% no coeficiente de endogamia das aves.

Em estudo utilizando também codornas japonesas, Yerturk et al. (2008) verificaram decréscimo de 2,2 ovos no período total de produção de ovos a cada acréscimo de 10% no coeficiente de endogamia, valor menor do que o observado no presente trabalho. Depressão para essa característica também foi observada por El-Fiky et al. (1996) também em codornas japonesas (*Coturnix coturnix japonica*) que verificaram, após a primeira geração de codornas endogâmicas, produção de ovos 25,03% menor, valor maior que o encontrado neste trabalho.

2.4 CONCLUSÕES

A endogamia teve efeito depressivo sobre o peso corporal, sobrevivência, produção de ovos e maturidade sexual de codornas europeias, tendo maior efeito sobre a linhagem EV2. A alta mortalidade e dificuldade de formar casais levaram as linhas endogâmicas das duas linhagens nos dois sistemas de acasalamentos à extinção após a quarta geração de endogamia.

2.5 LITERATURA CITADA

BERTECHINI, A.G. Situação atual e perspectivas para a coturnicultura no Brasil. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE COTURNICULTURA, 4., CONGRESSO BRASILEIRO DE COTURNICULTURA, 3., 2010, Lavras. *Anais...* Lavras: UFLA/DZO, 2010. p.9-14.

BREDA, F.C.; EUCLYDES, R.F.; PEREIRA, C. S., et al. Endogamia e Limite de Seleção em Populações Seleccionadas Obtidas por Simulação. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.33, n.6, p.2017-2025, 2004.

CHARLESWORTH, B.; CHARLESWORTH, D. The genetic basis of inbreeding depression. *Genetic Research*, v.74, p.29-34, 1999.

CONTI, A.C.M. *Análise genética da probabilidade diária de postura em três linhagens de codornas*. 2007. 59f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Estadual de Maringá, Paraná.

CROQUET, C.; MAYERES, P.; GILLON, A. et al. Linear and Curvilinear Effects of Inbreeding on Production Traits for Walloon Holstein Cows. *Journal of Dairy Science*, v.90, p.465-471, 2007.

CROW, J. F. e KIMURA, M., *An introduction to population genetics theory*. New York: Harper and Row, 1970.

DEROSE, M.A; ROFF, D.A. A comparison of inbreeding depression in life-history and morphological traits in animals. *Evolution*, v.53, p.1288-1292, 1999.

DUMON, A. G., The effects of inbreeding on hatchability. WORLD'S POULTRY CONGRESS, 4., 1930, London. *Anais...* London: Proceedings p. 1-5, 1930.

EL-FIKY, F.A.; ABOUL-HASSAN, M.A.; SHOUKRY, H.M.S. Effects of intensive inbreeding on some productive traits in Japanese quail. *Annals of Agricultural Science*, Moshtohor, v.34, n.1, p.189-202, 1996.

FALCONER, D.S.; MACKAY, T.F.C. *Introduction to quantitative genetics*. 4ed. London: Longman, 1996. 453p.

HILL, W.G. Hybridisation in pigs. *The Veterinary Record*, Jul 17, v.89, n.3, p.86-90, 1971.

KRISTENSEN, T.N., DAHLGAARD, J.; LOESCHKE, V. Effects of inbreeding and environmental stress on fitness-using *Drosophila buzzatii* as a model organism. *Conservation Genetics*, v.4, p.453-465, 2003.

NARAYAN, A. D., Effects of different rates of inbreeding on the body weight and rate of gain of Japanese quail. *British Poultry Science*, Vol. 17, Edição 3, p.303 – 311, 1976

PASTORE, S. M.; OLIVEIRA, W. P.; MUNIZ, J. C. L. Panorama da coturnicultura no Brasil. *Revista eletrônica Nutritime*. v. 9, n. 06, nov/dez.2012. Disponível em:< <http://www.nutritime.com.br>> Acesso em: 23 ago. 2013. – ISSN 1983-9006

QUEIROZ, S. A. Efeito da endogamia sobre características de crescimento de bovinos da raça gir no Brasil. *Revista Brasileira de Zootecnia*, vol.29, p.1014-1019,2000.

SANTANA, J. G.; JOSAHKIAN, A. L. Efeitos da endogamia em zebuínos com ênfase na raça nelore. *Cadernos de Pós-Graduação da FAZU*, V.1, 2011 – Uberaba.

SELVAGGI, M.; DARIO, C.; PERETTI, V. et al. Inbreeding depression in Laccese sheep. *Small Ruminant Research*, v.89, p.42-46, 2010.

SITTMANN, K.; ABPLANALP, B; FRASER, R.A. Inbreeding depression in Japanese quail. *Genetics*, v.54, p.371–379, 1966.

SOUZA, M. F. *Avaliação da endogamia em um programa de melhoramento de codornas de corte*. 2009. 33f Dissertação (Mestrado em Zootecnia). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

WRIGHT, S. Systems of mating. II. The effects of inbreeding on the genetic composition of a population. *Genetics*, v.6, p.124-143, 1921.

CAPÍTULO 3: Efeito da heterose sobre características produtivas e reprodutivas em codornas de corte *Coturnix coturnix coturnix*

Resumo: A coturnicultura é atividade com grande potencial de crescimento no Brasil apesar de os sistemas de produção dependerem de matrizes importadas pela ausência de linhagens nacionais competitivas. Esse fato evidencia a necessidade do desenvolvimento dessas linhagens. O desenvolvimento de linhagens competitivas deve se embasar no mesmo esquema utilizado no melhoramento de frangos onde, inicialmente, linhas especializadas são selecionadas explorando os efeitos genéticos aditivos e, posteriormente, as linhas especializadas são cruzadas para exploração da heterose. A heterose é definida como a superioridade do fenótipo médio da progênie em relação à média de seus pais. Aves híbridas obtidas pelo cruzamento entre linhas endogâmicas ou não endogâmicas mostram melhor desempenho e precocidade. Este estudo foi conduzido por meio de cruzamentos dialélicos entre duas linhas, EV1 e EV2, não endogâmicas ($F=0$) ou endogâmicas obtidas pelo acasalamento regular de meio irmãos ($F=0,125$; $0,219$ e $0,305$) ou entre irmãos completos ($F=0,25$; $0,375$ e $0,5$) para avaliar os efeitos da heterose no desempenho e em características reprodutivas de codornas de corte. As aves foram mantidas em gaiolas comunitárias do nascimento aos 35 dias de vida e em gaiolas individuais dos 35 aos 125 dias de vida. Quatro características foram avaliadas: peso corporal, mortalidade, idade ao primeiro ovo e produção de ovos. A significância de três contrastes ortogonais foi avaliada pelo teste t. O primeiro contraste (P) compara as médias das duas linhas, o segundo (H), a média das linhas puras e dos cruzamentos, e o terceiro (R), a média dos cruzamentos recíprocos. Foi observada heterose para todas as características com tendência a maiores valores observados nos cruzamentos envolvendo codornas com maiores coeficientes de endogamia. No dialelo envolvendo as linhas EV1 e EV2 não endogâmicas ($F=0$) a heterose variou de 1,86 a 7,08% para peso corporal, de 1,71 a -9,36 para mortalidade, de -6,12 a -7,17% para idade ao primeiro ovo e de 4,46 a 28,83% para produção de ovos. No dialelo envolvendo codornas endogâmicas EV1 e EV2 com o maior nível de endogamia no sistema de acasalamentos de meio irmãos ($F=0,305$), a heterose variou de 11,39 a 23,92% para peso corporal e de -24,82 a -34,03% para mortalidade. No dialelo envolvendo codornas endogâmicas com o maior nível de endogamia no sistema de acasalamentos de irmãos completos ($F=0,5$), a heterose variou de 8,07 a 9,47% para

peso corporal, de -1,68 a -10,38 para mortalidade, de 12,99 a 38,92% para produção de ovos e foi de -7,24% para idade ao primeiro ovo. O presente estudo mostrou serem os cruzamentos importante ferramenta para incrementar a eficiência dos sistemas de produção de codornas baseado no incremento do peso corporal e produção de ovos e no decréscimo na mortalidade e na idade à maturidade sexual. Maior heterose foi obtida nos cruzamentos envolvendo as linhas mais endogâmicas.

Palavras-chave: codorna europeia, heterose, linha endogâmica, sistema de acasalamento

CHAPTER 3: Effect of heterosis on production and reproductive characteristics of meat type quail *Coturnix coturnix coturnix*

Abstract: Quail production is an activity with great growth potential in Brazil in spite of the total dependency of the production systems on imported breeders due to an absence of competitive strains in the country. This suggests a necessity of competitive Brazilian's strains. The development of competitive strains may be based on the model used for chickens improvement, in which firstly the lines are developed by selection exploiting the additive genetic effects and further the developed lines are used in crosses to fully exploit heterosis. Heterosis is defined as the superiority of progeny phenotype mean in relation to the mean of their parents. Hybrid birds obtained alternatively by crossing no inbred or inbred lines show higher performance and precocity. This study was carried out in diallel crosses between no inbred lines EV1 and EV2 ($F=0$) or inbred lines EV1 and EV2, obtained by half sib mating ($F=0.125$, 0.219 and 0.305) or full sib mating ($F=0.25$, 0.375 and 0.5) to evaluate the effects of heterosis on performance and reproductive traits of meat type quail. Birds were kept in group cages from hatch to 35 days of age and on individual cages from 35 to 125 days of age. Four traits were evaluated: body weight, mortality, age at first egg and egg production. The significance of three orthogonal contrasts was evaluated by t test. The first contrast (P) compares means of both lines, the second (H), the means of the pure lines and their

crosses, and the third (R), the means of reciprocal crosses. All traits showed heterosis, with a tendency of higher values been observed in crosses involving quails with higher inbreeding coefficients. In the diallel crosses involving EV1 and EV2 non inbred lines ($F=0$) heterosis ranged from 1.86 to 7.08% for body weight, from 1,71 to - 9.36 for mortality, from -6.12 to -7.17% for age at first egg and from 4.46 to 28.83% for egg production. In the diallel crosses involving EV1 and EV2 inbred lines with the higher inbreeding coefficient in half sib matting system ($F=0.305$) heterosis ranged from 11.39 to 23.92% for body weight and from -24.82 to -34.03% for mortality. In the diallel crosses involving EV1 and EV2 inbred lines with the higher inbreeding coefficient in full sib matting system ($F=0.5$) heterosis ranged from 8.07 to 9.47% for body weight, from -1.68 to -10.38 for mortality, from 12.99 to 38.92% for egg production and was - 7.24% for age at first egg. The present study shows crossing is an important tool for increase the efficiency of quail production systems based on the increase of body weight and egg production and a decrease in mortality and sexual maturity. Greater heterosis was achieved in crosses involving the highly inbred lines.

Keywords: breeding system, European quail, heterosis, inbred line

3.1 INTRODUÇÃO

A coturnicultura é atividade com grande potencial de crescimento no Brasil e no mundo em função tanto da baixa utilização de mão de obra e menores custos da atividade, quanto da rusticidade dessas aves. Por isso, a atividade tem surgido como mais uma alternativa para suprir uma demanda proteica crescente da população. No Brasil a atividade não dispõe de material genético para produção de ovos e de carne, assim os sistemas de produção ficam na dependência de matrizes importadas. O desenvolvimento de linhagens brasileiras competitivas estaria perfeitamente consoante com a necessidade de material genético.

A maior parte das codornas utilizadas nos sistemas de produção brasileiros pertence a duas estirpes genéticas: *Coturnix coturnix japonica* e *Coturnix coturnix coturnix*, popularmente conhecidas como codornas japonesas e codornas europeias, respectivamente. As codornas japonesas têm menor porte e maior precocidade sendo opção interessante para a produção de ovos e as codornas europeias, de maior porte, são melhor opção aos sistemas produtores de carne, embora as codornas japonesas sejam muito utilizadas para ambos os sistemas inclusive em regime de dupla aptidão. A maior parte da informação sobre heterose encontrada na literatura trata de codornas japonesas.

As codornas europeias *Coturnix coturnix* são uma boa opção para a produção de carne devido ao seu maior porte. É referida como codorna comum em contraste a codorna japonesa ou codorna selvagem em contraste a codorna doméstica por alguns autores quando comparada à espécie *Coturnix japonica* (Vali, 2008). Existem também designações populares como “codornão” no Brasil ou “codorna gigante” (giant-quail) na Europa. Essa espécie não foi extensivamente utilizada como animal de laboratório ou animal modelo como a japonesa e os programas de melhoramento dela datam das duas últimas décadas. Daí a escassez de trabalhos na literatura.

O esquema para desenvolvimento de material genético em codornas deve seguir aquele praticado para galinhas de postura e frangos de corte. Há primeiro o desenvolvimento de linhagens, por seleção, para características complementares ou não, de forma a exacerbar os efeitos genéticos aditivos, e o posterior cruzamento para explorar a heterose e recuperar os efeitos de uma possível depressão, causada pela endogamia (Martins, 2002). Para isso é necessário que se conheçam, como na *Coturnix*

japonica os efeitos dos cruzamentos entre linhas. A heterose pode ser definida como a superioridade da média dos fenótipos dos filhos, obtidos por exogamia, em relação à média de seus pais (Lush, 1964). Por meio dos cruzamentos de linhagens distintas ou endogâmicas pode-se identificar combinações que apresentam heterose advinda de maior heterozigose, o que possibilita a produção de aves híbridas com alto desempenho e precocidade para produção de ovos e carne (Knizetova et al., 1991; Cruz et al., 2004).

Com esse estudo, objetivou-se avaliar os efeitos da heterose envolvendo cruzamentos dialélicos entre linhas não endogâmicas e entre linhas endogâmicas sobre características produtivas e reprodutivas de codornas europeias.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

As informações utilizadas neste estudo foram geradas nas instalações do Programa de Melhoramento Genético de Codornas de Corte do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Minas Gerais durante os anos de 2011, 2012 e 2013. O experimento foi realizado com autorização do Conselho de Ética em Experimentação Animal (CETEA 184/2011). O programa dispõe de dois grupos genéticos, EV1 e EV2, de codornas europeias *Coturnix coturnix coturnix* onde foi praticada, até o momento, seleção para ganho de peso por 11 gerações. Para a formação da população base do presente estudo foram amostradas 60 aves do plantel, sendo 15 reprodutores e 15 reprodutrizas de cada um dos dois grupos genéticos do programa. Para essa população foi assumido coeficiente de endogamia igual à zero, uma vez que o programa foi delineado para que não ocorressem incrementos acentuados de endogamia dentro dos grupos.

Avaliação da heterose

A avaliação da heterose para as características produtivas e reprodutivas foi realizada pela execução de cruzamentos dialélicos inicialmente envolvendo populações não endogâmicas e, posteriormente, envolvendo populações endogâmicas obtidas por meio de acasalamentos regulares entre meio irmãos paternos e entre irmãos completos.

Os grupos genéticos EV1 e EV2 permaneceram isolados para geração dos altos incrementos de endogamia dentro dos grupos. As aves provenientes de acasalamentos de irmãos completos atingiram coeficientes de endogamia de 0,25, 0,375 e 0,50. As aves provenientes de acasalamentos de meio irmãos paternos atingiram coeficientes de endogamia de 0,125, 0,219, e 0,305.

As aves das populações que deram origem às aves endogâmicas em cada um dos sistemas de acasalamentos participaram de dialelos completos. Os reprodutores e reprodutrices de cada um dos grupos genéticos foram reciprocamente cruzados, (machos EV1 com fêmeas EV2 e machos EV2 com fêmeas EV1) e as aves provenientes dos cruzamentos tiveram seu desempenho comparado a de sua geração parental pura (machos EV1 com fêmeas EV1 e machos EV2 com fêmeas EV2). Posteriormente, as codornas endogâmicas de cada geração participaram de dialelos completos envolvendo as populações endogâmicas de cada grupo genético e seus cruzamentos recíprocos.

Manejo e criação das aves

O manejo e criação das aves seguiram os padrões do programa de melhoramento genético de codornas. Todos os acasalamentos desde a população base foram realizados de forma que o macho permaneceu na gaiola de cada fêmea durante um dia, cada fêmea tendo sua gaiola individual com calha própria para coleta de ovos e a coleta se iniciou dois dias após a fertilização da última fêmea. Os ovos foram coletados por 10 dias e incubados à temperatura de 37,8°C e 60% de umidade relativa por 17 dias.

Ao nascimento as codornas foram identificadas por anilhagem e alojadas em gaiolas comunitárias de aço galvanizado com capacidade para até 20 codornas. Durante o período de crescimento as codornas foram alimentadas *ad libitum* com dieta de crescimento contendo 28%PB e 2900kcal EM e receberam programa de luz de 24h (natural + artificial) durante todo o período de crescimento.

As aves foram pesadas semanalmente e, no 35º dia de vida, as fêmeas foram transferidas para gaiolas individuais (também de aço galvanizado) com calha para coleta de ovos onde foi feita anotação diária da postura, desde a idade ao primeiro ovo até que completassem 125 dias de idade. A mortalidade foi calculada percentualmente pela diferença entre o número de aves nas unidades experimentais nas idades avaliadas em relação ao número inicial de codornas. A produção de ovos foi tomada em três períodos

consecutivos de 30 dias a partir dos 35 dias das aves sendo: PP1, a postura dos 36 aos 65 dias; PP2, a postura dos 66 aos 95 dias; PP3, a postura dos 96 aos 125 dias; e PA, a postura acumulada no período total de 90 dias. A maturidade sexual das fêmeas representa a idade em que as aves botaram o primeiro ovo, iniciando a fase reprodutiva.

Para comparação do desempenho das linhas e de seus cruzamentos foram organizados três contrastes ortogonais cuja significância foi avaliada pelo teste t. O primeiro contraste comparou as médias das duas linhas (P), o segundo a média das linhas e a média dos cruzamentos (H) e o terceiro a média dos cruzamentos recíprocos (R). A heterose foi calculada a partir da diferença entre o desempenho médio das aves das linhas e o desempenho médio das aves oriundas dos cruzamentos.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi encontrada heterose para todas as características estudadas com uma tendência geral de maiores valores para aves cruzadas de linhas com maiores graus de endogamia.

Peso corporal

Foi observada heterose apenas de 6,36% para o peso das aves aos 28 dias no dialelo envolvendo codornas com 37,5% de endogamia e a heterose para o peso das aves aos 14, 21 e 28 dias no dialelo envolvendo codornas com 50% de endogamia, foram 8,07, 9,47 e 9% de heterose, respectivamente (Tabela 1). A heterose foi maior nos cruzamentos que envolveram codornas com maior grau de endogamia estudado (50%). Não houve heterose para o peso corporal das aves nos cruzamentos envolvendo codornas não endogâmicas. As codornas provenientes dos cruzamentos das aves com 25% de endogamia tiveram, em média, menor desempenho do que as aves provenientes dos acasalamentos dentro das linhas.

Tabela 1. Pesos corporais médios das codornas europeias no sistema de acasalamento de irmãos completos de acordo com as linhas puras, endogâmicas e seus cruzamentos¹ recíprocos, significância dos contrastes ortogonais e heterose observada

Característica	EV1	EV2	EV1xEV2	EV2xEV1	Contraste ²			Heterose ³ (%)
					P	H	R	
Linhas puras (F = 0) e cruzamentos								
Peso aos 7 dias, g	35,77	35,18	36,38	36,18	NS	NS	NS	2,27
Peso aos 14 dias, g	86,92	85,53	87,59	87,64	NS	NS	NS	1,61
Peso aos 21 dias, g	150,41	163,58	148,99	149,31	NS	NS	NS	- 5,00
Peso aos 28 dias, g	202,09	192,04	203,99	200,64	**	NS	NS	2,66
Peso aos 35 dias, g	243,84	230,51	237,69	236,46	**	NS	NS	- 0,04
Linhas endogâmicas (F = 0,25) e cruzamentos								
Peso aos 7 dias, g	30,89	30,27	26,89	29,06	NS	**	NS	- 8,52
Peso aos 14 dias, g	76,37	76,13	64,04	70,69	NS	***	*	- 11,65
Peso aos 21 dias, g	133,29	137,79	124,34	132,89	NS	*	*	- 5,11
Peso aos 28 dias, g	193,53	191,35	182,39	193,92	NS	NS	NS	- 2,23
Peso aos 35 dias, g	232,54	229,77	209,14	223,67	NS	***	**	- 6,38
Linhas endogâmicas (F = 0,375) e cruzamentos								
Peso aos 7 dias, g	34,26	31,14	32,69	31,81	NS	NS	NS	- 1,36
Peso aos 14 dias, g	81,19	70,61	77,22	71,50	*	NS	NS	- 2,04
Peso aos 21 dias, g	136,49	120,98	131,92	128,15	*	NS	NS	1,01
Peso aos 28 dias, g	186,57	168,23	188,41	188,95	*	*	NS	6,36
Peso aos 35 dias, g	227,33	212,26	229,45	230,56	*	NS	NS	4,64
Linhas endogâmicas (F = 0,50) e cruzamentos								
Peso aos 7 dias, g	31,57	24,86	26,76	28,59	***	NS	NS	- 1,92
Peso aos 14 dias, g	71,39	58,34	69,38	70,82	***	**	NS	8,07
Peso aos 21 dias, g	126,09	106,62	126,71	128,04	***	***	NS	9,47
Peso aos 28 dias, g	183,79	146,70	178,58	181,65	***	***	NS	9,00
Peso aos 35 dias, g	228,66	190,19	214,02	219,11	***	NS	NS	3,41

¹Linha do reprodutor vem descrita antes em cruzamentos recíprocos; ²Contrastes ortogonais: P = EV1 – EV2, H = [(EV1xEV2) + (EV2xEV1)] - (EV1 + EV2), R = (EV1xEV2) - (EV2xEV1). ³Média dos cruzamentos menos média das linhas puras ou endogâmicas dividida pela média das linhas puras ou endogâmicas, expressa em percentagem; *P≤0,05; **P≤0,01; ***P≤0,001; NS = não significativo

Nos dialelos que envolveram codornas provenientes do sistema de acasalamento de meio irmãos foi observada heterose do peso em todas as idades exceto para peso aos 7 e 14 dias no dialelo envolvendo as aves com 21,9% de endogamia (Tabela 2). A heterose para peso aos 7 dias variou de 3,70 a 23,92%, aos 14 dias variou de 5,27 a 21,45%, aos 21 dias variou de 4,58 a 18,57%, aos 28 dias variou de 1,86 a 15,06 e aos 35 dias variou de 3,89 a 11,39%.

Tabela 2. Pesos corporais médios das codornas europeias no sistema de acasalamento de meio irmãos de acordo com as linhas puras, endogâmicas e seus cruzamentos¹ recíprocos, significância dos contrastes ortogonais e heterose observada

Característica	EV1	EV2	EV1xEV2	EV2xEV1	Contraste ²			Heterose ³ (%)
					P	H	R	
Linhas puras (F = 0) e cruzamentos								
Peso aos 7 dias, g	33,63	34,51	34,97	35,68	NS	*	NS	3,70
Peso aos 14 dias, g	80,33	78,25	82,68	84,61	NS	***	NS	5,49
Peso aos 21 dias, g	139,54	133,26	144,85	147,26	**	***	NS	7,08
Peso aos 28 dias, g	199,83	192,23	198,38	201,01	**	*	NS	1,86
Peso aos 35 dias, g	236,59	228,68	237,77	245,59	*	***	**	3,89
Linhas endogâmicas (F = 0,125) e cruzamentos								
Peso aos 7 dias, g	33,18	32,91	35,62	33,95	NS	**	NS	5,26
Peso aos 14 dias, g	76,48	76,45	81,11	79,87	NS	**	NS	5,27
Peso aos 21 dias, g	129,12	129,03	140,56	139,55	NS	***	NS	8,50
Peso aos 28 dias, g	183,32	179,12	187,99	184,71	*	*	NS	2,83
Peso aos 35 dias, g	221,81	217,21	234,38	230,68	*	***	NS	5,93
Linhas endogâmicas (F = 0,219) e cruzamentos								
Peso aos 7 dias, g	31,80	29,04	31,54	25,68	**	NS	***	- 5,95
Peso aos 14 dias, g	73,77	70,73	73,34	70,62	***	NS	NS	- 0,53
Peso aos 21 dias, g	128,84	123,14	133,21	130,32	*	*	NS	4,58
Peso aos 28 dias, g	177,68	171,84	190,36	183,61	NS	***	NS	7,00
Peso aos 35 dias, g	223,17	211,22	230,50	233,98	***	***	NS	6,93
Linhas endogâmicas (F = 0,305) e cruzamentos								
Peso aos 7 dias, g	27,91	26,27	34,65	32,49	*	***	NS	23,92
Peso aos 14 dias, g	66,99	63,72	85,21	73,53	NS	***	***	21,45
Peso aos 21 dias, g	123,54	115,06	145,43	137,47	**	***	NS	18,57
Peso aos 28 dias, g	177,78	169,10	203,6	195,45	**	***	NS	15,06
Peso aos 35 dias, g	220,02	213,65	246,47	236,58	*	***	*	11,39

¹Linha do reprodutor vem descrita antes em cruzamentos recíprocos; ²Contrastes ortogonais: P = EV1 – EV2, H = [(EV1xEV2) + (EV2xEV1)] - (EV1 + EV2), R = (EV1xEV2) - (EV2xEV1). ³Média dos cruzamentos menos média das linhas puras ou endogâmicas dividida pela média das linhas puras ou endogâmicas, expressa em percentagem; *P≤0,05; **P≤0,01; ***P≤0,00; NS = não significativo

A heterose foi maior em todas as idades no dialelo envolvendo codornas com o maior nível de endogamia estudado (30,5%). A heterose foi menor para o peso das aves aos 7, 28 e 35 dias no dialelo envolvendo aves não endogâmicas, aos 14 dias no dialelo envolvendo aves com 12,5% de endogamia e aos 21 dias no dialelo envolvendo aves com 21,9% de endogamia.

Moritsu et al. (1997) encontraram heterose para peso corporal em todos os grupos genéticos estudados com diferenças significativas entre os cruzamentos recíprocos, o que mostra que há diferença em qual linha será escolhida como linha fêmea. Chahil et al. (1975) não encontraram efeito materno significativo para peso aos 35 dias em cruzamentos dialélicos 3x3 de três populações em acasalamento ao acaso. Também em cruzamentos dialélicos, mas com linhas em seleção divergente para peso aos 28 dias de idade, Baik e Marks (1993) encontraram diferenças significativas entre os cruzamentos recíprocos HW x LW e LW x HW e heterose negativa. Esses autores atribuíram os resultados ao maior progresso genético observado na linha leve (LW). Apesar de não se esperar alta heterose para características produtivas, como ganho de peso e peso corporal, é possível obter resultados muito favoráveis para os sistemas de produção de carne com a exploração dos cruzamentos.

Drumond (2012), ao realizarem cruzamentos dialélicos entre quatro linhas de codornas europeias com aptidão para produção de carne, encontraram efeito heterótico significativo para peso corporal aos 35 dias de idade apenas para uma das seis possíveis combinações de linhas, L2xL4, com 11,76% de heterose, valor superior ao 3,89% do presente trabalho.

Mortalidade

A heterose para mortalidade das codornas foi negativa em todas as idades nos quatro dialelos estudados, exceto aos sete dias no dialelo envolvendo as codornas com 37,5% de endogamia (Tabela 3). A heterose para mortalidade aos 7 dias variou de 2,22 a -22,71%, aos 14 dias variou de -2,26 a -23,77%, aos 21 dias variou de -3,08 a -24,63%, aos 28 dias variou de -5,86 a -25,1% e aos 35 dias, período total avaliado, variou de -7,55 a -28,02%. A heterose foi maior em todas as idades no dialelo envolvendo codornas com 25% de endogamia e menor no dialelo envolvendo codornas com 50% de endogamia para mortalidade aos 14 dias e envolvendo codornas com 37,5% de endogamia aos 7, 21, 28 e 35 dias de idade.

Tabela 3 - Número de aves (n), mortalidade (m, %) e heterose de codornas europeias no sistema de acasalamento de irmãos completos de acordo com as linhas puras, endogâmicas e seus cruzamentos recíprocos¹

Linha	EV1xEV1	EV2xEV2	EV1xEV2	EV2xEV1	Heterose ²	EV1xEV1	EV2xEV2	EV1xEV2	EV2xEV1	Heterose ²
F (%)	F = 0 e cruzamentos				(%)	F = 0,25 e cruzamentos				(%)
Idade	Nascimento					Nascimento				
n	83	75	42	58		108	59	81	60	
Idade	7 dias					7 dias				
n	74	64	41	54		71	48	79	57	
m (%)	10,84	14,66	2,38	6,89	- 8,11	34,26	18,64	2,47	5,00	- 22,71
Idade	14 dias					14 dias				
n	72	63	39	53		64	43	74	53	
m (%)	13,25	16,00	7,14	8,62	- 6,74	40,74	27,12	8,64	11,67	- 23,77
Idade	21 dias					21 dias				
n	71	62	38	53		60	41	71	52	
m (%)	14,45	17,33	9,52	8,62	- 6,82	44,44	30,51	12,35	13,33	- 24,63
Idade	28 dias					28 dias				
n	70	61	38	53		59	41	71	52	
m (%)	15,66	18,66	9,52	8,62	- 8,09	45,37	30,51	12,35	13,33	- 25,1
Idade	35 dias					35 dias				
n	69	60	38	53		55	39	70	52	
m (%)	16,86	20,00	9,52	8,62	- 9,36	49,07	33,89	13,58	13,33	- 28,02
F (%)	F = 0,375 e cruzamentos				(%)	F = 0,5 e cruzamentos				(%)
Idade	Nascimento					Nascimento				
n	48	36	68	17		42	43	36	54	
Idade	7 dias					7 dias				
n	43	35	64	15		41	37	32	53	
m (%)	10,42	2,78	5,88	11,76	2,22	2,38	13,95	11,11	1,85	- 1,68
Idade	14 dias					14 dias				
n	39	33	62	15		38	34	28	52	
m (%)	18,75	8,33	8,82	11,76	- 3,25	9,52	20,93	22,22	3,70	- 2,26
Idade	21 dias					21 dias				
n	39	31	62	14		34	32	28	51	
m (%)	18,75	13,89	8,82	17,65	- 3,08	19,05	25,58	22,22	5,55	- 8,43
Idade	28 dias					28 dias				
n	39	29	62	14		32	32	28	49	
m (%)	18,75	19,44	8,82	17,65	- 5,86	23,81	25,58	22,22	9,26	- 8,95
Idade	35 dias					35 dias				
n	38	28	61	14		31	31	28	48	
m (%)	20,83	22,22	10,29	17,65	- 7,55	26,19	27,91	22,22	11,11	- 10,38

¹Linha do reprodutor vem descrita antes em cruzamentos recíprocos; ²Média dos cruzamentos menos média das linhas puras ou endogâmicas dividida pela média das linhas puras ou endogâmicas, expressa em porcentagem; F(%) = coeficiente médio de endogamia

A heterose para mortalidade das codornas foi negativa em todas as idades nos três dialelos envolvendo codornas endogâmicas, exceto aos sete dias do dialelo envolvendo as codornas com 21,9% de endogamia, e foi positiva em todas as idades no dialelo envolvendo codornas não endogâmicas (Tabela 4). A heterose para mortalidade aos 7 dias variou de 1,06 a -24,82%, aos 14 dias variou de 1,09 a -25,46%, aos 21 dias variou de 1,3 a -29,68%, aos 28 dias variou de 1,05 a -30,39 e aos 35 dias, período total avaliado, variou de 1,71 a -34,03%.

A heterose foi maior em todas as idades no dialelo envolvendo codornas com o maior nível de endogamia estudado (30,5% de endogamia), e menor no dialelo envolvendo codornas com o menor nível (0%). A heterose para mortalidade em todas as idades foi maior no cruzamento de linhas com 12,5% do que a encontrada nos cruzamentos de codornas com 21,9% de endogamia, fato para o qual, não foi encontrada explicação biológica.

Moritsu et al. (1997) encontraram heterose negativa para mortalidade de 77% envolvendo cruzamento de linhas selecionadas de maneira divergente, para o cruzamento HW x LW e 54,4% para os cruzamentos HP x LP. A mortalidade foi acrescida em 2 a 4 pontos percentuais a cada 10% no aumento de endogamia (Sittmann et al., 1966; Kulenkamp et al., 1973) e esses autores citam que heterose exacerbada para características de sobrevivência podem ser observadas em decorrência da diminuição da endogamia nos cruzamentos. Marks (1995) observou heterose que variou de 12 a 47% para sobrevivência em cruzamentos de codornas selecionadas para incremento no ganho de peso à idade de seleção. Sato et al. (1989) observaram heterose de -18,5% para mortalidade em cruzamentos recíprocos de linhas altamente endogâmicas (92,5%). Elevadas taxas de mortalidade no período de crescimento podem gerar grandes prejuízos para o sistema de produção.

Tabela 4 - Número de aves (n), mortalidade (m, %) e heterose de codornas europeias no sistema de meio irmãos paternos de acordo com as linhas puras, endogâmicas e seus cruzamentos recíprocos¹

Linha	EV1xEV1	EV2xEV2	EV1xEV2	EV2xEV1	Heterose ²	EV1xEV1	EV2xEV2	EV1xEV2	EV2xEV1	Heterose ²
F (%)	F = 0 e cruzamentos (%)					F = 0,125 e cruzamentos (%)				
Idade	Nascimento					Nascimento				
n	200	107	237	210		248	255	43	33	
Idade	7 dias					7 dias				
n	193	105	226	204		236	229	42	32	
m (%)	3,50	1,87	4,64	2,86	1,06	4,84	10,19	2,32	3,03	- 4,84
Idade	14 dias					14 dias				
n	186	104	221	199		230	220	42	32	
m (%)	7,00	2,80	6,75	5,24	1,09	7,26	13,72	2,32	3,03	- 7,81
Idade	21 dias					21 dias				
n	185	103	220	196		225	218	42	32	
m (%)	7,50	3,74	7,17	6,67	1,3	9,27	14,51	2,32	3,03	- 9,21
Idade	28 dias					28 dias				
n	184	103	220	196		223	218	42	32	
m (%)	8,00	3,74	7,17	6,67	1,05	10,08	14,51	2,32	3,03	- 9,62
Idade	35 dias					35 dias				
n	184	103	218	195		223	215	42	32	
m (%)	8,00	3,74	8,02	7,14	1,71	10,08	15,69	2,32	3,03	- 10,21

¹Linha do reprodutor vem descrita antes em cruzamentos recíprocos; ²Média dos cruzamentos menos média das linhas puras ou endogâmicas dividida pela média das linhas puras ou endogâmicas, expressa em percentagem; F(%) = coeficiente médio de endogamia

Tabela 4 - Número de aves (n), mortalidade (m, %) e heterose de codornas europeias no sistema de meio irmãos paternos de acordo com as linhas puras, endogâmicas e seus cruzamentos recíprocos¹ (continuação)

Linha	EV1xEV1	EV2xEV2	EV1xEV2	EV2xEV1	Heterose ²	EV1xEV1	EV2xEV2	EV1xEV2	EV2xEV1	Heterose ²
F (%)	F = 0,219 e cruzamentos				(%)	F = 0,305 e cruzamentos				(%)
Idade	Nascimento					Nascimento				
n	106	126	49	18		155	284	56	50	
Idade	7 dias					7 dias				
n	94	113	46	15		111	175	52	45	
m (%)	11,32	10,32	6,12	16,67	0,57	28,39	38,38	7,14	10,00	- 24,82
Idade	14 dias					14 dias				
n	87	105	46	15		105	162	49	45	
m (%)	17,92	16,67	6,12	16,67	- 5,9	32,26	42,96	14,29	10,00	- 25,46
Idade	21 dias					21 dias				
n	87	103	46	15		99	149	49	45	
m (%)	17,92	18,25	6,12	16,67	- 6,69	36,13	47,53	14,29	10,00	- 29,68
Idade	28 dias					28 dias				
n	87	102	46	15		99	145	49	45	
m (%)	17,92	19,05	6,12	16,67	- 7,09	36,13	48,94	14,29	10,00	- 30,39
Idade	35 dias					35 dias				
n	87	100	46	15		97	128	49	45	
m (%)	17,92	20,63	6,12	16,67	- 7,88	37,42	54,93	14,29	10,00	- 34,03

¹Linha do reprodutor vem descrita antes em cruzamentos recíprocos; ²Média dos cruzamentos menos média das linhas puras ou endogâmicas dividida pela média das linhas puras ou endogâmicas, expressa em percentagem; F(%) = coeficiente médio de endogamia

Produção de Ovos e Maturidade sexual

Foi observada heterose para todas as características, exceto postura no terceiro mês das aves provenientes dos cruzamentos entre linhas puras do sistema de acasalamentos de irmãos completos (Tabela 5). A heterose para idade da ave à maturidade sexual foi negativa e variou de 3,36 a 7,85%. A heterose para produção de ovos variou de 18,38 a 38,92% no primeiro mês, 4,46 a 18,95% no segundo mês, 5,23 a 18,08% no terceiro mês e 10,72 a 20,52% no período total.

Tabela 5. Médias de idade à maturidade sexual e da produção de ovos acumulada por período de codornas europeias no sistema de acasalamento de irmãos completos de acordo com as linhas puras, endogâmicas e seus cruzamentos¹ recíprocos

Característica	EV1	EV2	EV1xEV2	EV2xEV1	Contraste ²			Heterose ³
	Linhas puras (F = 0) e cruzamentos				P	H	R	(%)
Idade à maturidade sexual, d	44,48	45,42	41,64	41,82	NS	***	NS	-7,17
Produção de ovos, 1º mês, n°	18,28	18,08	24,38	22,46	NS	***	NS	28,83
Produção de ovos, 2º mês, n°	27,36	26,70	27,45	27,93	NS	*	NS	4,46
Produção de ovos, 3º mês, n°	27,75	27,53	28,67	28,27	NS	NS	NS	3,01
Produção de ovos, 90 dias, n°	73,38	72,30	80,50	78,67	NS	***	NS	10,79

¹Linha do reprodutor vem descrita antes em cruzamentos recíprocos; ²Contrastes ortogonais: P = EV1 - EV2, H = [(EV1xEV2) + (EV2xEV1)] - (EV1 + EV2), R = (EV1xEV2) - (EV2xEV1). ³Média dos cruzamentos menos média das linhas puras ou endogâmicas dividida pela média das linhas puras ou endogâmicas, expressa em percentagem; *P<0,05; **P<0,01; ***P<0,00; NS = não significativo

Tabela 5. Médias de idade à maturidade sexual e da produção de ovos acumulada por período de codornas europeias no sistema de acasalamento de irmãos completos de acordo com as linhas puras, endogâmicas e seus cruzamentos¹ recíprocos (continuação)

Característica	EV1	EV2	EV1xEV2	EV2xEV1	Contraste ²			Heterose ³
Linhas endogâmicas (F = 0,25) e cruzamentos								
Idade à maturidade sexual, d	48,45	44,05	46,31	43,09	***	**	**	-3,36
Produção de ovos, 1ºmês, n°	14,16	18,44	17,23	21,36	***	***	***	18,38
Produção de ovos, 2ºmês, n°	25,95	27,28	28,33	28,91	NS	***	NS	7,54
Produção de ovos, 3ºmês, n°	26,00	27,83	27,75	28,90	NS	**	NS	5,23
Produção de ovos, 90 dias, n°	66,11	73,56	73,31	79,17	***	***	NS	10,72
Linhas endogâmicas (F = 0,375) e cruzamentos								
Idade à maturidade sexual, d	47,55	46,43	43,60	43,00	NS	***	NS	-7,85
Produção de ovos, 1ºmês, n°	13,32	16,81	17,77	21,60	***	***	***	30,68
Produção de ovos, 2ºmês, n°	21,94	23,67	26,32	27,93	NS	***	NS	18,95
Produção de ovos, 3ºmês, n°	25,00	27,23	27,68	29,19	*	***	NS	8,88
Produção de ovos, 90 dias, n°	60,26	67,71	71,77	78,72	NS	***	***	20,52
Linhas endogâmicas (F = 0,50) e cruzamentos								
Idade à maturidade sexual, d	48,84	52,38	47,89	46,00	NS	*	NS	-7,24
Produção de ovos, 1ºmês, n°	10,37	13,55	15,56	17,67	**	***	NS	38,92
Produção de ovos, 2ºmês, n°	23,50	26,08	28,10	28,00	NS	*	NS	13,14
Produção de ovos, 3ºmês, n°	22,94	24,67	27,55	28,67	NS	***	NS	18,08
Produção de ovos, 90 dias, n°	56,81	71,25	69,70	75,00	***	**	NS	12,99

¹Linha do reprodutor vem descrita antes em cruzamentos recíprocos; ²Contrastes ortogonais: $P = EV1 - EV2$, $H = [(EV1xEV2) + (EV2xEV1)] - (EV1 + EV2)$, $R = (EV1xEV2) - (EV2xEV1)$. ³Média dos cruzamentos menos média das linhas puras ou endogâmicas dividida pela média das linhas puras ou endogâmicas, expressa em percentagem; * $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$; *** $P \leq 0,00$; NS = não significativo

A heterose foi maior nos cruzamentos de codornas com os maiores graus de endogamia estudados. Codornas com 37,5% de coeficiente de endogamia apresentaram maiores heteroses para maturidade sexual e produção de ovos no segundo mês e no período total. Codornas com 50% de coeficiente de endogamia apresentaram maiores heteroses para produção de ovos nos primeiro e segundo meses. A heterose para maturidade sexual e postura no primeiro mês foi maior no cruzamento de linhas puras do que a encontrada no cruzamento de codornas com 25% de endogamia, e a heterose para maturidade sexual, postura no segundo mês e postura total foi maior no cruzamento de codornas com 37,5% do que a observada no cruzamento de codornas com 50% de endogamia, fato para o qual não foi encontrada explicação biológica.

Foi observada heterose para todas as características avaliadas, exceto a postura acumulada no terceiro mês das linhas não endogâmicas e a postura acumulada no segundo mês das linhas endogâmicas (Tabela 6). A maturidade sexual apresentou heterose negativa, sendo de -7,17 para as aves não endogâmicas e -18,18 para as endogâmicas. Já em relação à postura acumulada, observa-se que os valores foram positivos, apresentando a variação de 28,83 a 91,78 no primeiro mês; 4,46 a 6,01 no segundo e 3,01 a 15,64 no terceiro mês e de 10,79 a 25,79 na postura total respectivamente para aves não endogâmicas e endogâmicas, respectivamente. Para todas as características a heterose foi maior nas codornas que apresentavam maior grau de endogamia, 12,5%.

Tabela 6. Médias de idade à maturidade sexual e da produção de ovos acumulada por período de codornas europeias no sistema de acasalamento de meio irmãos paternos de acordo com as linhas puras, endogâmicas e seus cruzamentos¹ recíprocos

Característica	EV1	EV2	EV1xEV2	EV2xEV1	Contraste ²			Heterose ³ (%)
					P	H	R	
Linhas puras (F = 0) e cruzamentos								
Idade à maturidade sexual, d	46,39	49,84	45,72	44,62	NS	***	NS	- 6,12
Produção de ovos, 1ºmês, n°	16,82	14,16	17,37	16,81	NS	***	NS	10,36
Produção de ovos, 2ºmês, n°	25,19	25,51	27,87	28,00	NS	*	NS	10,18
Produção de ovos, 3ºmês, n°	25,59	26,19	27,73	27,13	NS	NS	NS	5,96
Produção de ovos, 90 dias, n°	65,77	63,51	72,53	71,73	NS	***	NS	11,58
Linhas endogâmicas (F = 0,125) e cruzamentos								
Idade à maturidade sexual, d	53,55	50,17	42,56	44,41	NS	***	NS	- 16,75
Produção de ovos, 1ºmês, n°	9,55	10,53	21,56	16,94	NS	***	***	91,78
Produção de ovos, 2ºmês, n°	24,87	26,32	28,44	25,82	NS	NS	*	6,01
Produção de ovos, 3ºmês, n°	23,35	23,42	27,88	26,20	NS	***	NS	15,64
Produção de ovos, 90 dias, n°	57,35	60,26	77,94	70,00	NS	***	**	25,79

¹Linha do reprodutor vem descrita antes em cruzamentos recíprocos; ²Contrastes ortogonais: P = EV1 – EV2, H = [(EV1xEV2) + (EV2xEV1)] - (EV1 + EV2), R = (EV1xEV2) - (EV2xEV1). ³Média dos cruzamentos menos média das linhas puras ou endogâmicas dividida pela média das linhas puras ou endogâmicas, expressa em percentagem; *P≤0,05; **P≤0,01; ***P≤0,001; NS = não significativo

Sato et al. (1989) encontram heterose de 32% para produção de ovos em cruzamentos recíprocos entre duas linhas altamente endogâmicas (92,5%) de codornas japonesas e Moritsu et al. (1997) também encontraram heterose para produção de ovos que variava entre 22 a 44% em cruzamentos envolvendo linhas de codornas japonesas selecionadas de forma divergente. Os mesmos autores encontraram heterose para idade

ao primeiro ovo que variava entre 9 a 23%. Gerken et al. (1988) observaram heterose negativa (-5,5%) para idade à postura de 50% da produção total também em codornas japonesas, resultados similares aos obtidos no presente trabalho, porém para idade ao primeiro ovo, as heteroses foram para cruzamento envolvendo linhas não endogâmicas (-7,17) e (-6,12) e para cruzamentos envolvendo linhas endogâmicas -16,75, -3,36, -7,85 e -7,24%, com 12,5, 25, 37,5 e 50% de coeficiente de endogamia.

Chahil et al. (1975) concluíram que a combinação em cruzamentos de linhas acasaladas aleatoriamente ou selecionadas para características de crescimento proporcionou heterose para maturidade sexual e postura e que a linha utilizada como fêmea também é importante na expressão da heterose o que indica a presença de efeitos maternos nestas características de crescimento.

No presente trabalho foi observada diferença entre os cruzamentos recíprocos das linhas com 12,5% de endogamia para produção de ovos no primeiro mês, no segundo mês e total, entre os cruzamentos recíprocos das linhas com 25% de endogamia para idade ao primeiro ovo e produção de ovos no primeiro mês e entre os cruzamentos das linhas com 37,5% de endogamia para a produção de ovos no primeiro mês e no período total. Os cruzamentos entre as linhas com coeficiente de endogamia de 25 e 37,5% indicam que o cruzamento EV2 x EV1, ou seja, a utilização da linha EV2 como paterna e da linha EV1 como materna gerou maior heterose. Os cruzamentos entre as linhas com coeficiente de endogamia de 12,5% indicam que o cruzamento EV1 x EV2, ou seja, a utilização da linha EV1 como paterna e da linha EV2 como materna gerou maior heterose. Nos cruzamentos entre linhas com coeficiente de endogamia de 0% não houve diferença entre os cruzamentos recíprocos. Dessa forma, ambos os cruzamentos podem ser recomendados para os sistemas de produção de codornas.

De forma geral, os cruzamentos constituem importante ferramenta para incrementar a eficiência de sistemas de produção pela maior produção de ovos e menor idade à maturidade sexual de codornas de corte. Os cruzamentos são alternativa para aumentar a eficiência dos sistemas de produção por possibilitarem a exploração dos efeitos gênicos não aditivos da população.

3.4 CONCLUSÕES

As linhas cruzadas de codornas podem apresentar baixa ou nenhuma heterose para características produtivas como peso corporal ou ganho de peso. As características reprodutivas e de sobrevivência apresentam alta heterose resultando em aumentos na eficiência reprodutiva dos animais por gerar maior número de aves terminadas e comercializadas no sistema.

3.5 LITERATURA CITADA

BACON, W.L.; NESTOR, K.E. Divergent selection for body weight and yolk precursor in *Coturnix coturnix japonica*. 2. Correlated responses in plasma lipoprotein and lipids. *Poultry Science*, v.61, p.161–165, 1982.

BERTECHINI, A.G. Situação atual e perspectivas para a coturnicultura no Brasil. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE COTURNICULTURA, 4., CONGRESSO BRASILEIRO DE COTURNICULTURA, 3., 2010, Lavras. *Anais...* Lavras: UFLA/DZO, 2010. p.9-14.

BAIK, D. H.; MARKS, H.L. Divergent selection for growth in Japanese quail under split and complete nutritional environments. 7. Heterosis and combining ability among diallel crosses following twenty-seven generations of selection. *Poultry Science*, v.72, p.1449–1458, 1993.

CHAHIL, P.S.; JOHNSON, W.A.; SCHILLING, P.E. Combining ability in a diallel cross of three lines of *Coturnix coturnix japonica*. *Poultry Science*, v.54, p.1844–1849, 1975.

CONTI, A.C.M. *Análise genética da probabilidade diária de postura em três linhagens de codornas*. 2007. 59f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Estadual de Maringá, Paraná.

CROW, J. F. e KIMURA, M., *An introduction to population genetics theory*. New York: Harper and Row, 1970.

CRUZ, C.D. *Aplicação de algumas técnicas multivariadas no melhoramento de plantas*. 1990. 188f. Dissertação (Doutorado em Genética e Melhoramento) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

FALCONER, D.S.; MACKAY, T.F.C. *Introduction to quantitative genetics*. 4ed. London: Longman, 1996. 453p.

GERKEN, M.; ZIMMER, S.; PETERSON, J. Juvenile body weight and gonad development in a diallel cross among lines of Japanese quail (*Coturnix coturnix japonica*). *Theoretical Applied Genetics*, v.76, p.775–780, 1988.

KNIZETOVA, H.; HYÁNER, J.; KNIZE, B.; et al. Analysis of growth curves of fowl. I – Chickens. *Poultry Science*, v.32, p.1027-1038, 1991.

KULENKAMP, A.W.; KULENKAMP, C.M.; COLEMAN, T.H. The effects of intensive inbreeding (brother x sister) on various traits in Japanese quail. *Poultry Science*, v.52, p.1240–1246, 1973.

LUSH, J. L., *Melhoramento genético dos animais domésticos*. Aliança, Rio de Janeiro, BR, 1964. 570p.

MARKS, H.L. Heterosis and overdominance following long-term selection for body weight in Japanese quail. *Poultry Science*, v.74, p.1730–1744, 1995.

MARTINS, E.N. Perspectivas do melhoramento genético de codornas no Brasil. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE COTURNICULTURA, 1., 2002, Lavras. *Anais...* Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2002. p.204-208.

MORITSU, Y., NESTOR, K.E., NOBLE, D.O., ANTHONY, N.B. BACON, W.L. Divergent selection for body weight and yolk precursor in *Coturnix coturnix japonica*. 12. Heterosis in reciprocal crosses between divergently selected lines 1. *Poultry Science*, v.76, p.437–444, 1997.

PASTORE, S. M.; OLIVEIRA, W. P.; MUNIZ, J. C. L. Panorama da coturnicultura no Brasil. *Revista eletrônica Nutritime*. v. 9, n. 06, 2012.

SATO, K.; FUKUDA, H.; HEDIANTO, Y. E.; INO, T. Research Note: Heterosis for reproductive traits in reciprocal crosses of highly inbred lines of Japanese quail. *Poultry Science*, v.26, p.70–73, 1989.

SITTMANN, K.; ABPLANALP, H.; FRASER, R. A. Inbreeding depression in Japanese quail. *Genetics*, v.54, p.371–379, 1966.

STRONG, C.F.; NESTOR, Jr.K.E.; BACON, W.L. Inheritance of egg production, egg weight, body weight and certain plasma constituents in *Coturnix*. *Poultry Science*, v.57, p.1-9, 1978.

VALI, N. The Japanese quail: a review. *International Journal of Poultry Science*, v.7, p.925-931, 2008.

WILLHAM, R. L.; POLLAK, E. Heterosis and crossbreeding. *Dairy Science*, v. 68, p.2411-2417, 1985.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O melhoramento genético das aves e das outras espécies domésticas é baseado em duas ferramentas, seleção e cruzamentos. A seleção resulta em ganhos genéticos. Porém, resulta também em aumento da homozigose que pode causar queda no desempenho e adaptação do animais, efeito conhecido como depressão endogâmica. Os cruzamentos não promovem ganho genético ou mudanças nas frequências gênicas, mas aumentam a variação genética e a heterozigose em uma população.

A depressão endogâmica observada nas características estudadas ocorreu provavelmente pela rápida perda de heterozigosidade nos locos gênicos, responsáveis pelas características em estudo, causada pelos sucessivos acasalamentos entre irmãos. A maioria dos genes deletérios em uma população é de genes recessivos e em condições de acasalamentos ao acaso eles permanecem ocultos. A homozigose decorrente da endogamia traz a luz esses genes. Como esperado, características diretamente relacionadas com adaptação, como a mortalidade, foram as mais afetadas.

A depressão endogâmica é função linear do coeficiente de endogamia (F) quando os mecanismos de ação gênica são dominantes, que foi o caso da maior parte das características estudadas demonstrado pelo efeito linear significativo. Na existência de epistasia pode haver desvios dessa linearidade. Os altos incrementos de endogamia levaram à total extinção as linhas em estudo na quarta geração endogâmica, pela baixa eclodibilidade, fertilidade e viabilidade das codornas, resultados consoantes com os estudos da literatura em que foram conduzidos acasalamentos regulares entre irmãos em aves onde ocorre extinção das linhas entre a terceira e quinta gerações endogâmicas.

Nos cruzamentos dialélicos realizados, heterose foi obtida para todas as características em estudo em aves provenientes de genitores endogâmicos e não endogâmicos. Como esperado, a heterose teve maior amplitude nas características adaptativas e menor amplitude nas características de desempenho. O que pode ser explicado pelo fato de as características adaptativas serem comandadas, em sua maioria, por genes não aditivos o que implica efeitos benéficos da dominância e sobredominância quando obtida maior heterozigose nos cruzamentos.

Maior heterose também foi obtida nos cruzamentos envolvendo as linhas com maior grau de endogamia. Isso se deveu ao fato de se obter maior heterozigose quando são cruzadas linhas puras com maior grau de homozigose e também pela recuperação de efeitos deletérios expressos nas linhas puras endogâmicas em homozigose.