

MICHELE DE OLIVEIRA MENDONÇA

**DESEMPENHO ZOOTÉCNICO E QUALIDADE DE OVOS DE CODORNAS
JAPONESAS ALIMENTADAS COM RAÇÕES CONTENDO DIFERENTES
FONTES DE ÔMEGA 3**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2013

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV

T

M539d
2013 Mendonça, Michele de Oliveira, 1978-
Desempenho zootécnico e qualidade de ovos de codornas
japonesas alimentadas com diferentes rações de ômega-3 /
Michele de Oliveira Mendonça. – Viçosa, MG, 2013.
xv, 156f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui anexo.

Orientador: Sérgio Luiz de Toledo Barreto.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Codorna - Nutrição. 2. Ovos - Qualidade. 3. Óleo de
linhaça. 4. Óleos de peixe. 5. Óleo de canola. 6. *Coturnix*
coturnix japonica. I. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Zootecnia. Programa de Pós-Graduação em
Zootecnia. II. Título.

CDD 22. ed. 636.593

MICHELE DE OLIVEIRA MENDONÇA

**DESEMPENHO ZOOTÉCNICO E QUALIDADE DE OVOS DE CODORNAS
JAPONESAS ALIMENTADAS COM RAÇÕES CONTENDO DIFERENTES
FONTES DE ÔMEGA 3**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 13 de novembro de 2013.



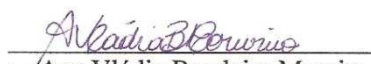
Edison José Fassani



Maria Inês de Souza Dantas



Robledo de Almeida Torres
(Coorientador)



Ana Vlândia Bandeira Moreira
(Coorientadora)



Sérgio Luiz de Toledo Barreto
(Orientador)

*“Cuidado com seus pensamentos, pois eles se tornam palavras.
Cuidado com suas palavras, pois elas se tornam ações.
Cuidado com suas ações, pois elas se tornam hábitos.
Cuidado com seus hábitos, pois eles se tornam seu caráter.
E cuidado com seu caráter, pois ele se torna seu destino.
O que nós pensamos, nós nos tornamos.”
(Margareth Thatcher)*

À **Deus**, inteligência suprema do Universo, obrigada pelo dom da vida e a oportunidade de iniciar cada dia como mais uma chance de evoluir.

Ao meu pai **Jefferson** (*in memoriam*), obrigada por aceitar a tarefa de ser meu pai. Sei que onde está você vibra junto comigo cada passo da minha caminhada.

À minha mãe **Marcia Maria**, o ser mais especial e mais importante da minha vida. Tenho muito orgulho de me compararem a ela, exemplo de mãe, guerreira e lutadora. Muito obrigada pela confiança e incentivo!

Ao meu irmão caçula **Lucas** (só para mim ele é o Devilsu), que apareceu nas nossas vidas com uma missão importante, a qual tem cumprido muito bem. Obrigada pelos ouvidos, pelas risadas, dicas, aprendizados, enfim pelo companheirismo de sempre!

Ao meu irmão **Fabio**, o lindo, o queridinho da família! Obrigada pelos ensinamentos, adoro aprender com você. Obrigada também pelo incentivo e por acreditar no meu potencial.

Ao meu irmão **Gustavo**, somos tão diferentes, mas tão iguais... Espero que hoje você consiga me compreender melhor.

À minha afilhada **Julia**, por nunca esquecer o amor que tenho por ela e por suportar a saudade.

Aos meus tios e primos por acreditarem nas minhas escolhas e por compreenderem minha ausência.

DEDICO

À **Juma, Lana e Tina**, a esses seres especiais que estão sempre ao meu lado. Obrigada pelo amor incondicional e pela companhia incansável. Minha vida se torna mais feliz com vocês por perto.

À **Estevão**, meu companheiro de tantos anos, apesar de não compreender grande parte das minhas escolhas, obrigada pelo amor dedicado a mim.

A **Eliseu e Maria Alice**, pelo apoio em todos os momentos.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa (UFV) pela oportunidade e apoio para a realização deste trabalho.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais – *Campus* Rio Pomba pela concessão de afastamento total para a realização deste doutorado.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo financiamento desta pesquisa e concessão de bolsas de iniciação científica.

Ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT) pelo apoio financeiro que permitiu o início das análises laboratoriais.

Ao professor Sérgio Luiz de Toledo Barreto pela confiança, elogios, incentivo e amizade.

À professora Ana Vlândia Bandeira Moreira pelas orientações valiosas, dedicação, ensinamentos e amizade.

Aos professores Robledo de Almeida Torres e Fabyano Fonseca e Silva por estarem sempre dispostos a me ajudar, pela atenção e sugestões especialmente nas análises estatísticas.

Ao professor Édison José Fassani por mais uma vez contribuir com minha formação.

À Maria Inês de Souza Dantas pela disposição, ajuda e orientação na execução do teste sensorial e ainda por contribuir para a conclusão deste trabalho.

À Marcia Maria Cândido da Silva pela orientação, ajuda e execução das análises do perfil de ácidos graxos.

À Roberta, Livia, Tamara, Raquel e Aureana, pela amizade e a ajuda imprescindível para a execução deste trabalho.

Às minhas queridas amigas que conheci em Viçosa, Renata, Sanely, Cleidida Sonia e Fernanda pela ajuda, incentivo, conselhos e compreensão. Renata, Sonia e Fernanda obrigada também pelas excelentes hospedagens.

Aos meus amigos Jorge, Macaé e Cleverson pela dedicação e ajuda durante toda a execução deste trabalho.

Ao Anderson e demais membros da equipe do Laboratório de Pós-colheita do Departamento de Biologia Vegetal, da Universidade Federal de Viçosa, pelo empréstimo do colorímetro digital.

Aos alunos e funcionários do Departamento de Nutrição e Saúde, da Universidade Federal de Viçosa, pela excelente acolhida e ajuda à “menina dos ovos de codornas”.

Aos funcionários do setor de Avicultura do Departamento de Zootecnia, da Universidade Federal de Viçosa, Elísio, Adriano, José Lino e Tião pelo apoio, amizade e pela grande ajuda e auxílio na condução dos experimentos.

Aos funcionários do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa, em especial Fernanda, Rosana, Cleone e Venâncio por estarem sempre dispostos a ajudar.

Às minhas grandes amigas Fabiana e Cristina, pela cumplicidade, ajuda, compreensão e amizade independente da distância. Amizade eterna!

Agradeço imensamente a todos que contribuíram direta ou indiretamente com esse trabalho e para minha formação, não só profissional como também pessoal.

BIOGRAFIA

MICHELE DE OLIVEIRA MENDONÇA, filha de Jefferson da Silva Mendonça Junior e Marcia Maria de Oliveira Mendonça, nasceu no Rio de Janeiro – RJ, no dia 26 de agosto de 1978.

Em 2003, graduou-se em zootecnia na Universidade Federal de Lavras onde foi bolsista de iniciação científica pelo CNPq no período de julho de 2000 a janeiro de 2003.

Iniciou o mestrado na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias *Campus* Jaboticabal-SP em março de 2003, defendendo sua dissertação em março de 2005.

De abril a agosto de 2005 foi professora substituta no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso *Campus* São Vicente.

Em setembro de 2005, ingressou no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia *Campus* Colorado do Oeste como professora efetiva, e em setembro de 2008 foi redistribuída para o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais *Campus* Rio Pomba, no qual permanece até o momento como professora efetiva.

Em março de 2010 iniciou o curso de Doutorado em Zootecnia, na Universidade Federal de Viçosa, na área de Nutrição e Produção de Animais Monogástricos, submetendo-se à defesa de tese no dia 13 de novembro de 2013.

ÍNDICE

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	xi
RESUMO	xii
ABSTRACT	xiv
1. INTRODUÇÃO GERAL	1
2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	4

CAPÍTULO I

DESEMPENHO ZOOTÉCNICO, QUALIDADE E INCORPORAÇÃO DE ÁCIDOS GRAXOS EM OVOS DE CODORNAS JAPONESAS ALIMENTADAS COM RAÇÕES COM ÓLEO DE LINHAÇA

RESUMO	5
ABSTRACT	6
1. INTRODUÇÃO	7
2. MATERIAL E MÉTODOS	8
2.1. Local, aves, dietas e manejo	8
2.2. Parâmetros avaliados	10
2.3. Análises químicas	13
2.4. Delineamento experimental e análises estatística	13
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	14
3.1. Desempenho zootécnico das codornas	14
3.2. Características de qualidade interna e externa dos ovos de codorna	17
3.3. Concentração e tempo de incorporação dos ácidos graxos na gema	21
4. CONCLUSÃO	33
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33

CAPÍTULO II

QUALIDADE DE OVOS DE CODORNAS ALIMENTADAS COM RAÇÃO CONTENDO ÓLEO DE LINHAÇA SUBMETIDOS À ESTOCAGEM

RESUMO	36
ABSTRACT	37
1. INTRODUÇÃO	38
2. MATERIAL E MÉTODOS	38
2.1. Aves e dietas	38
2.2. Preparo das amostras para avaliação do efeito do tempo de estocagem sobre a qualidade dos ovos	40
2.3. Preparo das amostras para avaliação do efeito da condição de armazenamento sobre a qualidade dos ovos	40
2.4. Parâmetros avaliados	40
2.5. Delineamento experimental e análises estatística	41
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
3.1. Efeito do tempo de estocagem sobre a qualidade dos ovos	41
3.2. Efeito da condição de estocagem sobre a qualidade dos ovos	44
4. CONCLUSÃO	48
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48

CAPÍTULO III
PERFIL DE ÁCIDOS GRAXOS E GRAU DE OXIDAÇÃO DE OVOS DE
CODORNAS ALIMENTADAS COM RAÇÃO CONTENDO ÓLEO DE LINHAÇA
SUBMETIDOS À ESTOCAGEM OU AO PROCESSAMENTO TÉRMICO

RESUMO	50
ABSTRACT	51
1. INTRODUÇÃO	52
2. MATERIAL E MÉTODOS	53
2.1. Aves e dietas	53
2.2. Preparo das amostras para avaliação do efeito do processamento térmico sobre a qualidade dos ovos	53
2.3. Preparo das amostras para avaliação do efeito da condição de armazenamento sobre a qualidade dos ovos	55
2.4. Análises laboratoriais	55
2.5. Delineamento experimental e análises estatística	57
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	57
3.1. Efeito do processamento térmico sobre a qualidade dos ovos	57
3.2. Efeito da condição de estocagem sobre a qualidade dos ovos	67
4. CONCLUSÃO	75
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75

CAPÍTULO IV
FONTES DE ÔMEGA 3 EM RAÇÕES PARA CODORNAS JAPONESAS:
DESEMPENHO ZOOTÉCNICO, QUALIDADE DE OVOS E TEMPO DE
INCORPORAÇÃO DE ÁCIDOS GRAXOS NA GEMA

RESUMO	78
ABSTRACT	79
1. INTRODUÇÃO	80
2. MATERIAL E MÉTODOS	81
2.1. Local, aves, dietas e manejo	81
2.2. Parâmetros avaliados	83
2.3. Análises químicas	85
2.4. Delineamento experimental e análises estatística	86
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	87
3.1. Desempenho zootécnico das codornas	87
3.2. Características de qualidade interna e externa dos ovos de codorna	90
3.3. Concentração e tempo de incorporação dos ácidos graxos na gema	94
4. CONCLUSÃO	106
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	106

CAPÍTULO V
QUALIDADE DE OVOS DE CODORNAS ALIMENTADAS COM RAÇÕES
SUPLEMENTADAS COM FONTES DE ÔMEGA 3 SUBMETIDOS À
ESTOCAGEM

RESUMO	110
ABSTRACT	111
1. INTRODUÇÃO	112

2. MATERIAL E MÉTODOS	113
2.1. Aves e dietas	113
2.2. Preparo das amostras para avaliação do efeito do tempo de estocagem sobre a qualidade dos ovos	113
2.3. Preparo das amostras para avaliação do efeito da condição de armazenamento sobre a qualidade dos ovos	113
2.4. Parâmetros avaliados	114
2.5. Delineamento experimental e análises estatística	115
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	115
3.1. Efeito do tempo de estocagem sobre a qualidade dos ovos	115
3.2. Efeito da condição de estocagem sobre a qualidade dos ovos	119
4. CONCLUSÃO	123
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	123

CAPÍTULO VI
QUALITY OF EGGS SUBJECTED TO STORAGE OR HEAT TREATMENT
FROM QUAILS FED DIFFERENT SOURCES OF OMEGA-3 FATTY ACIDS

ABSTRACT	126
INTRODUCTON	127
MATERIALS AND METHODS	129
Birds and Diets	129
Preparation of Samples for the Evaluation of the Effect of Thermal Processing on Egg Quality	129
Preparation of Samples for the Evaluation of the Effect of Storage Temperature on the Quality of Eggs	129
Laboratory analyses	130
Experimental Design and Analyses	130
RESULTS AND DISCUSSION	131
Effect of Thermal Processing on Egg Quality	131
Effect of Storage Temperature on Egg Quality	137
ABBREVIATIONS USED	144
REFERENCES	145
TABLES	150
 CONCLUSÕES GERAIS	 155
ANEXO	156

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AA	Ácido Araquidônico
AAL	Ácido Alfa-Linolênico
AG	Ácidos Graxos
AGPI	Ácidos Graxos Poli-insaturados
AL	Ácido Linoléico
BHT	Butil-Hidróxi-Tolueno
DHA	Ácido Docosahexaenoico
DPA	Ácido Docosapentaenoico
EPA	Ácido Eicosapentaenoico
MDA	Malonaldeído
MONO	Monoinsaturados
MONO/SAT	Relação Monoinsaturados/Saturados
n-3	Ômega 3
n-6	Ômega 6
n-6/n-3	Relação Ômega 6/Ômega 3
POLI	Poli-insaturados
POLI/MONO	Relação Poli-insaturados/Monoinsaturados
POLI/SAT	Relação Poli-insaturados/Saturados
SAT	Saturados
SL	Semente de Linhaça
TBA	Ácido Tiobarbitúrico
TBARS	Substâncias Reativas Ao Ácido Tiobarbitúrico
UR	Umidade Relativa
α -TOC	Alfa-Tocoferol

RESUMO

MENDONÇA, Michele de Oliveira, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, novembro de 2013. **Desempenho zootécnico e qualidade de ovos de codornas japonesas alimentadas com rações contendo diferentes fontes de ômega 3.** Orientador: Sérgio Luiz de Toledo Barreto. Coorientadores: Ana Vlândia Bandeira Moreira, Robledo de Almeida Torres e Fabyano Fonseca e Silva.

Foram conduzidos seis experimentos simultâneos com o objetivo de avaliar o desempenho zootécnico, a qualidade dos ovos e o tempo de incorporação de ácidos graxos na gema de ovos de codornas japonesas alimentadas com rações com diferentes níveis de óleo de linhaça em substituição ao óleo de soja (0, 25, 50, 75 e 100%, perfazendo os níveis de 0,0; 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0% de óleo de linhaça – Experimento 1) ou com rações suplementadas com 2% de óleo como fonte de ômega 3 (soja, linhaça, peixe e canola) (Experimento 2). Adotou-se delineamento inteiramente casualizado composto de cinco (Exp. 1) ou quatro (Exp. 2) tratamentos com oito repetições e oito aves por parcela. A utilização da substituição do óleo de soja pelo óleo de linhaça ou dos óleos rico em ômega 3 não alterou significativamente nenhum dos parâmetros de desempenho nem a qualidade interna e externa dos ovos, com exceção da intensidade da coloração amarela da gema, que aumentou linearmente com a inclusão de óleo de linhaça na ração (Exp. 1), e, no Exp. 2, se mostrou mais intensa com a utilização dos óleos de linhaça, de peixe e de canola. Em ambos os experimentos, constatou-se que o tempo médio para estabilização da maioria dos ácidos graxos na gema é de 21 dias de alimentação das codornas com rações contendo as fontes de ômega 3. Além disso, maior incorporação nos ovos de n-3 total e dos ácidos linolênico, eicosapentaenoico (EPA) e docosahexaenoico (DHA) e menores teores de ácidos linoléico, araquidônico e n-6 total e razão n-6/n-3 mais próxima da indicação para consumo humano (3 a 5:1) foi promovida pela alimentação das codornas com ração adicionada de óleo de linhaça. Mais dois ensaios foram realizados com o objetivo de avaliar os efeitos do tempo e da condição de estocagem sobre a qualidade de ovos de codornas alimentadas com rações suplementadas ou não com óleo de linhaça (Exp. 3) ou com fontes de ômega 3 (Exp. 4). Em ambos foi adotado delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 5/4 x 2, sendo cinco níveis de óleo de linhaça/quatro tipos de óleo rico em ômega 3 e dois tempos de armazenamento (frescos [tempo zero] e estocados por 21 dias) ou duas condições de estocagem por 21 dias (com e sem refrigeração). Foram avaliados nos ovos: perda de peso, peso específico, pH do albúmen e pH da gema. O tempo e a

condição de estocagem, principalmente na ausência de refrigeração, promovem piora da qualidade de ovos de codornas, independente do nível de óleo de linhaça ou do óleo como fonte de ômega 3 adicionada à ração. A utilização de até 2% de óleo de linhaça ou qualquer um dos óleos rico em ômega 3 na ração das codornas não causa alterações indesejáveis na maior parte dos parâmetros de qualidade dos ovos armazenados por 21 dias. O perfil de ácidos graxos e o grau de oxidação lipídica nas gemas de ovos submetidos ao processamento térmico ou diferentes condições de armazenamento por 35 dias produzidos por codornas alimentadas com rações com níveis crescentes de óleo de linhaça (Exp. 5) ou com óleos rico em ômega 3 (Exp. 6) foram analisados utilizando delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 5/4 x 2 (cinco níveis de óleo de linhaça/quatro tipos de óleos rico em ômega 3) e duas categorias de processamento (submetidos ou não à cocção úmida) ou duas temperaturas de armazenamento (com e sem refrigeração). O processamento térmico, apesar de ter aumentado o grau de oxidação, incrementou o teor de poli-insaturados, especialmente o linolênico e reduziu o conteúdo de saturados. A estocagem por 35 dias sob refrigeração promoveu preservação da maioria dos ácidos graxos, principalmente os poli-insaturados da família ômega 3 e maior estabilidade oxidativa. O consumo diário de uma porção (cinco unidades) de ovos cozidos de codornas alimentadas com ração suplementada com 2% de óleo de linhaça é indicado para atendimento da recomendação de ingestão mínima de ômega 3 para adultos (250 mg/dia de EPA + DHA).

ABSTRACT

MENDONÇA, Michele de Oliveira, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, November, 2013. **Zootechnical performance and egg quality of Japanese quails fed diets containing different sources of omega 3.** Adviser: Sérgio Luiz de Toledo Barreto. Co-advisers: Ana Vlândia Bandeira Moreira, Robledo de Almeida Torres and Fabyano Fonseca e Silva.

Six experiments were conducted simultaneously in order to evaluate the production performance, egg quality and the time of incorporation of fatty acids in the egg yolk of Japanese quails fed diets with different levels of linseed oil in substitution of soybean oil (0, 25, 50, 75 and 100%, corresponding to levels of 0.0, 0.5, 1.0, 1.5 and 2.0% of linseed oil - Experiment 1) or diets supplemented with 2% oil as a source of omega 3 (soybean, linseed, fish and canola) (Experiment 2). It was adopted a randomized design composed of five (Exp. 1) or four (Exp. 2) treatments with eight replications and eight birds per experimental unit. The substitution of soybean oil by linseed oil or oils rich in omega-3 did not significantly alter any of the parameters of performance or internal and external quality of eggs, except the intensity of the yellow color of the yolk, which increased linearly with the addition of linseed oil in the diet (Exp. 1), and in Exp. 2 was more intense with the use of linseed, canola and fish oils. In both experiments, it was found that the average time for the stabilization the majority of the fatty acids in the egg yolk is 21 days of feeding quails with diets containing omega-3 sources. Furthermore the greater incorporation in eggs of total n-3 and linolenic acid, eicosapentaenoic acid (EPA) and docosahexaenoic acid (DHA) and lower levels of linoleic, arachidonic and total n-6 and n-6/n-3 ratio closer to the indication for human consumption (3 to 5:1) was promoted by feeding quails with diets added of linseed oil. Two more trials were conducted to evaluate the effects of time and storage conditions on egg quality of quails fed diets supplemented with linseed oil (Exp. 3) or sources of omega 3 (Exp. 4). In both was adopted a randomized design in a factorial 5/4 x 2, five levels of linseed oil / four types of oil rich in omega 3 and two periods of storage (fresh [time zero] and stored for 21 days) or two storage conditions for 21 days (with and without refrigeration). Were evaluated in eggs: weight loss, specific gravity, albumen pH, and yolk pH. The time and conditions of storage, especially without refrigeration, promote worsening of quality of quail eggs, regardless of level of linseed oil or oils rich in omega 3 added to the diet. The addition until 2% of linseed oil or any oils rich in

omega-3 in diets for quails does not cause undesirable changes in most parameters of quality of eggs stored for 21 days. The fatty acid profile and lipid oxidation in egg yolks subjected to thermal processing or storage conditions for 35 days from quails fed diets with levels of linseed oil (Exp. 5) or oils rich in omega 3 (Exp. 6) were analyzed using a randomized design in factorial scheme 5/4 x 2 (levels of linseed oil / four types of oils rich in omega 3) and two categories of processing (processed with moist cooking or not) or two temperatures storage (with and without refrigeration). Heat increased polyunsaturated fatty acid levels (especially linolenic acid) and reduced saturated fatty acid levels despite increased oxidation. Refrigeration for 35 days preserved the most fatty acids levels (particularly omega-3 polyunsaturated fatty acids), and promoted greater oxidative stability. Daily consumption of a serving (five units) of boiled eggs from quails fed diet supplemented with 2% of linseed oil is recommended for minimum omega 3 intake for adults (250 mg / day of EPA + DHA).

1. INTRODUÇÃO GERAL

Por se tratar de um alimento de alta qualidade e preço acessível, o ovo deveria ser amplamente consumido, principalmente pela população de baixa renda. Segundo Turatti et al. (2002), o ovo pode ser considerado um alimento nutricionalmente completo e é uma das melhores opções para solucionar os problemas de nutrição na América Latina.

O ovo é rico em proteínas de alto valor biológico, vitaminas do complexo B, A, E, K, minerais como ferro, fósforo, selênio e zinco, carotenóides como a luteína e zeaxantina, e também fonte importante de colina, um indispensável componente do cérebro (Henrique, 2002). Comprovando seu incontestável valor nutricional, pois reúne a maioria dos nutrientes necessários à vida, só perde para o leite materno em termos de aminoácidos essenciais.

Todavia, o ovo tem enfrentado objeções com consequência na comercialização e no consumo. Tem sido muitas vezes considerado perigoso à saúde devido aos níveis de colesterol na gema. Ovos de codornas são alvos de maior crítica quando comparado aos de galinha em função do nível de colesterol. No entanto, segundo Villanua & Villanua (1988), ovos de espécies comerciais como os de galinha, codorna, pata e perua apresentam níveis semelhantes de colesterol.

De forma geral, os ovos têm pouquíssima influência nos altos níveis de colesterol sanguíneo ou nas enfermidades cardiovasculares (Ramalho et al., 2007). Estudo realizado em 22 países industrializados e apresentado em relatórios publicados no *Lipid Research Clinics* mostrou que a incidência de doenças cardiovasculares é mais baixa no Japão, onde o consumo de ovo é maior (Turatti et al., 2002).

Contudo, surge a possibilidade de modificação do conteúdo nutricional de ovos de galinhas que é conhecida desde 1934. Várias técnicas têm sido adotadas para alterar benéficamente a composição da gema do ovo. Algumas conclusões gerais derivadas de mais de sete décadas de acúmulo de resultados são: a dieta influi pouco na porcentagem de gordura do ovo; a composição em ácidos graxos da gordura da gema é modificável pela dieta; os ácidos graxos insaturados da dieta trocam as proporções dos ácidos graxos presentes na gema (Cruickshank, 1934; Oliveira et al., 2001; Seibel, 2005).

Considerando as recentes mudanças na nutrição humana caracterizadas pelo aumento do consumo de gorduras e de óleos vegetais ricos em ácidos graxos poli-insaturados da série ômega 6 (AGPI n-6) em conjunto com a diminuição da ingestão de

alimentos ricos em AGPI da série ômega 3 (n-3), a razão n-6/n-3 nas dietas ocidentais de 10-20/1 tem estado acima da relação de 1/1 presente na dieta dos nossos antepassados. A literatura fornece evidências convincentes para o benefício à saúde do consumo de AGPI n-3 na prevenção e tratamento da síndrome metabólica (conjunto de sintomas, como a obesidade visceral, a resistência à insulina, pressão arterial elevada, dislipidemia associado ao aumento do risco de diabetes tipo 2, doença cardiovascular, cirrose hepática não alcoólica e alguns tipos de câncer) (Molendi-Coste et al., 2011).

O peixe é a mais rica fonte dietética de AGPI de cadeia muito longa da série n-3, entre eles o eicosapentaenoico (EPA) e docosahexaenoico (DHA), mas grande parte da população, segundo Welch et al. (2010), não consome ou ingere pouco peixe. Além disso, a diminuição das populações de peixes, bem como a presença de poluentes como metais pesados e organoclorados em algumas espécies (Domingo & Bocio, 2007) pode comprometer o consumo de peixes como principal fonte desses AGPI. Portanto, outras fontes alimentares de EPA e DHA estão sendo procuradas. O enriquecimento de alimentos é, provavelmente, a melhor solução a longo prazo para aumentar a ingestão de AGPI da família ômega 3 (Molendi-Coste et al., 2011).

Segundo Bourre (2005) é interessante enriquecer produtos de origem animal através da suplementação de rações com fontes ricas em ômega 3, como o óleo de canola, de linhaça ou de peixe, tornando, desta forma, a ingestão de n-6/n-3 mais equilibrada na alimentação humana. De acordo com o autor, os ovos são o modelo perfeito de transferência de nutrientes da dieta, uma vez que o tipo de ácido graxo na gema está intimamente relacionado ao tipo de lipídio consumido pela ave. Com a inclusão de ingredientes ricos em ômega 3 em rações para galinhas poedeiras e codornas é possível alterar benéficamente a composição lipídica da gema através do incremento de AGPI n-3 na gema, sendo que os resultados de enriquecimento com ômega 3 de ovos de codornas são escassos.

Assim, considerando o crescimento e o desenvolvimento da coturnicultura, destacado pelo incremento do número de codornas alojadas (6,2 milhões de aves alojadas em 2002 contra a previsão de alojamento em 2010 de 14,68 milhões) juntamente com o aumento do consumo de ovos per capita anual, de cinco ovos de codorna por pessoa na década de 90 para uma estimativa em 2010 de 14 ovos por ano, ainda com a perspectiva de que em 2020 estarão alojadas mais de 36 milhões de aves, permitindo consumo per capita da ordem de 30 ovos de codorna por ano (Bertechini, 2010), associada a maior demanda por produtos diferenciados e a preocupação do

consumidor com a qualidade funcional dos alimentos, a inclusão de fontes de ômega 3 na dieta de codornas pode ser promissora para a disponibilização de ovos enriquecidos para o mercado consumidor, tornando-os fonte alimentícia alternativa, de baixo custo, para equilibrar o consumo desses ácidos graxos essenciais.

Nesse sentido, foram realizados três experimentos simultâneos com o objetivo de avaliar os efeitos da substituição do óleo de soja pelo óleo de linhaça em rações para codornas japonesas em postura sobre:

- O desempenho zootécnico, as características físicas de qualidade dos ovos e o tempo de incorporação dos ácidos graxos na gema (Capítulo I);
- A qualidade interna e externa de ovos frescos e estocados por 21 dias ou mantidos sob duas condições de armazenamento por 21 dias (Capítulo II);
- O perfil de ácidos graxos e o grau de oxidação de ovos, submetidos ao processamento térmico ou a duas temperaturas de estocagem (Capítulo III).

Paralelamente a esses experimentos, foram conduzidos três ensaios com a finalidade de avaliar o efeito do uso de óleos como fonte de ômega 3 na ração de codornas, tais como o óleo de soja, de linhaça, de peixe e de canola sobre o desempenho zootécnico, qualidade dos ovos e tempo de incorporação dos ácidos graxos na gema (Capítulo IV); efeito do tempo e da condição de estocagem sobre a qualidade dos ovos (Capítulo V) e, por último, analisou-se o perfil de ácidos graxos, o grau de oxidação, a atividade antioxidante e o teor de fenólicos de ovos, submetidos ao processamento térmico ou duas temperaturas de estocagem, de codornas alimentadas com rações suplementadas com as fontes de ômega 3 (Capítulo VI – enviado para publicação no *Journal of Agricultural and Food Chemistry*).

2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERTECHINI, A.G. Situação atual e perspectivas para a coturnicultura no Brasil. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL, 4, CONGRESSO BRASILEIRO DE COTURNICULTURA, 3., 2010, Lavras. **Anais...** Lavras: UFLA/DZO, 2010. p. 9-14.
- BOURRE, J.-M. Omega-3, animal feeding, nutritional value, and derived products where to find omega-3 fatty acids and how feeding animals with diet enriched in omega-3 fatty acids to increase nutritional value of derived products for human: what is actually useful? **The Journal of Nutrition, Health & Aging**, v. 9, n. 4, p. 232-242, 2005.
- CRUICKSHANK, E.M. Studies in fat metabolism in the flow as affected by the ingestion of fats. **Biochemistry Journal**, v. 28, p. 965-977, 1934.
- DOMINGO, J.L.; BOCIO, A. Levels of PCDD/PCDFs and PCBs in edible marine species and human intake: A literature review. **Environment International**, v. 33, p. 397-405, 2007.
- HENRIQUE, A. Alimentos Funcionais - Parte 2. **Revista Oxidologia**, v. 2, p. 8-13, 2002.
- MOLENDI-COSTE, O.; LEGRY, V.; LECLERCQ, I.A. Why and how meet n-3 PUFA Dietary Recommendations? **Gastroenterology Research and Practice**, v. 2011, Article ID 364040, 11 p., 2011. doi:10.1155/2011/364040. Disponível em: <<http://www.hindawi.com/journals/grp/2011/364040/cta/>>. Acesso em: 30 jan. 2013.
- OLIVEIRA, B.L.; VALLE, R.H.P.; BRESSAN, M.C.; CARVALHO E.P. de. **Tecnologia de Ovos**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2001. 75p.
- RAMALHO, H.M.M.; COSTA, A.P.M.; SOARES, N.K.M.; SILVA, K.H.D, SANTOS, V.V.A., DIMENSTEIN, R. Níveis de colesterol em ovos de galinha caipira, de granja e de codorna submetidos a diferentes condições de estocagem. **Revista Instituto Adolfo Lutz**, v. 66, n. 3, p. 256-260, 2007.
- SEIBEL, N.F. Transformações bioquímicas durante o processamento do ovo: uma revisão. In: SOUZA-SOARES E SIEWERDT (Orgs). **Aves e Ovos**. Pelotas: Ed. da Universidade UFPEL, 2005. p. 77-90.
- TURATTI, J.M; GOMES, R.A.R; ATHIÉ I. **Lipídeos: aspectos funcionais e novas tendências**. Campinas: ITAL; 2002. 69 p.
- VILLANUA, M.P.; VILLANUA, L. Determinación de colesterol en huevos de distintas especies de aves. **Anales de Bromatología**, v. 40, n. 2, p. 327-350, 1988.
- WELCH, A.A.; SHAKYA-SHRESTH, S.; LENTJES, M.A.H.; WAREHAM, N.J.; KHAW, K-T. Dietary intake and status of n-3 polyunsaturated fatty acids in a population of fish-eating and non-fish-eating meat eaters, vegetarians, and vegans and the precursor-product ratio of alpha-linolenic acid to long-chain n-3 polyunsaturated fatty acids: results from the EPIC-Norfolk cohort. **American Journal of Clinical Nutrition**, v. 92, n. 5, p. 1040-1051, 2010.

CAPÍTULO I

Desempenho zootécnico, qualidade e incorporação de ácidos graxos em ovos de codornas japonesas alimentadas com rações com óleo de linhaça

RESUMO – Avaliou-se o desempenho zootécnico, a qualidade dos ovos e o tempo de incorporação de ácidos graxos na gema de ovos de codornas japonesas alimentadas com rações com diferentes níveis de óleo de linhaça utilizando um delineamento inteiramente casualizado composto de cinco tratamentos (0,0; 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0% óleo de linhaça) com oito repetições e oito aves por parcela. A utilização do óleo de linhaça não influenciou o desempenho das codornas nem alterou as características físicas de qualidade interna e externa dos ovos, com exceção da intensidade da cor amarela da gema que aumentou linearmente com a inclusão de maiores níveis de óleo de linhaça na ração. Não foi possível estabelecer melhor combinação de tempo de incorporação e nível de óleo de linhaça para n-3 total, relação n-6/n-3, ácido linolênico, eicosapentaenoico e docosahexaenoico, entretanto a adição de 2% óleo de linhaça se mostrou eficiente em incorporar esses ácidos graxos nos ovos. A inclusão de até 2% óleo de linhaça na ração de codornas japonesas não prejudica o desempenho zootécnico nem tampouco a qualidade interna e externa dos ovos, intensifica a coloração amarela da gema e ainda promove incorporação de ômega 3 nos ovos. O tempo médio para estabilizar a maioria dos ácidos graxos e suas relações na gema é de 20 dias de alimentação das codornas com rações contendo 2% óleo de linhaça.

Palavras-chave: Coturnix; enriquecimento de ovos; óleo de soja; ômega 3; ômega 6

Zootechnical performance, egg quality and incorporation of fatty acids in eggs of Japanese quails fed diets with linseed oil

ABSTRACT - Zootechnical performance, egg quality and time of incorporation of fatty acids in the egg yolk of Japanese quails fed diets with different levels of linseed oil were analyzed using a randomized design consisting of five treatments (0.0, 0.5, 1.0, 1.5 and 2.0% of linseed oil) with eight replicates and eight birds per cage. The inclusion of linseed oil did not influence the productive performance of quails or changed the physical characteristics of internal and external quality of eggs, except for the intensity of the yellow color of the yolk that increased linearly with the inclusion of higher levels of linseed oil in the diet. It was not possible to establish the best combination of time of incorporation of fatty acids and levels of linseed oil for total n-3, n-6:n-3 ratio, linolenic acid, eicosapentaenoic acid and docosahexaenoic acid, however the addition of 2% of linseed oil was efficient to incorporate these fatty acids in the eggs. The addition until 2% of linseed oil in the diet of Japanese quails does not affect zootechnical performance nor the internal and external quality of eggs, intensifies the yellow color of the yolk and still promotes greatest enrichment of eggs with omega-3 fatty acids. The average time to stabilize the majority of fatty acids and their ratios in the egg yolk is 20 days of feeding quails with diets containing 2% of linseed oil.

Keywords: Coturnix; enrichment of eggs; soybean oil; omega 3; omega 6

1. INTRODUÇÃO

Estudos nas últimas décadas têm elucidado as importantes funções desempenhadas no organismo humano pelos ácidos graxos poli-insaturados de cadeia longa (AGPI-CL) das famílias n-6 e n-3 e as reações envolvidas na sua formação a partir dos ácidos linoléico (C18:2 n-6, AL) e alfa-linolênico (C18:3 n-3, AAL).

Os AGPI das séries n-6 e n-3 são metabolicamente diferentes e possuem funções fisiológicas opostas (pró e anti-inflamatória, respectivamente), deste modo o equilíbrio nutricional é importante a fim de se obter a homeostasia e o desenvolvimento normal do organismo. Um balanço adequado na proporção de n-6/n-3 na dieta é essencial para o metabolismo do organismo humano, podendo levar a prevenção de doenças cardiovasculares e crônicas degenerativas.

No entanto, os produtos considerados fontes de AAL e de AGPI-CL n-3 (eicosapentaenoico [EPA] e docosahexaenoico [DHA]) como o óleo ou a semente de linhaça e o óleo de peixe não são comumente utilizados em dietas humanas, por isso, segundo Bourre (2005) é interessante enriquecer produtos de origem animal através da suplementação de rações com fontes ricas em ômega 3, tornando, desta forma, a ingestão de n-6/n-3 mais equilibrada nas dietas para humanos. De acordo com o autor, os ovos são o modelo perfeito de transferência de nutrientes da dieta, uma vez que o tipo de ácido graxo na gema está diretamente relacionado ao tipo de lipídio consumido pela ave, especialmente ao conteúdo de ácidos graxos poli-insaturados.

Fraeye et al. (2012) destacaram que ao longo dos últimos 20 anos a influência da adição de semente ou óleo de linhaça na dieta sobre o desempenho de galinhas poedeiras e características dos ovos vem sendo estudada extensivamente, porém, apesar do aumento do teor de AAL na gema ser proporcional à adição de linhaça na dieta das galinhas, os resultados sobre parâmetros de produção e características de ovos (como consumo de ração, produção de ovos, peso dos ovos, porcentagem de gema) das aves alimentadas com linhaça são muito contraditórios.

Considerando o crescimento e desenvolvimento da coturnicultura nos últimos anos, destacado pelo incremento do número de codornas alojadas com 6,2 milhões de aves alojadas em 2002 contra a previsão de alojamento em 2010 de 14,68 milhões, associado ao aumento constante da demanda dos consumidores, evidenciado pelo consumo de ovos per capita anual em que na década de 90 o consumo anual era de cinco ovos de codorna por pessoa e em 2010 a estimativa foi de 14 ovos por ano (Bertechini, 2010), faz-se necessário avaliar se a inclusão de fontes de ômega 3 na dieta

de codornas promove o enriquecimento dos ovos sem alterar sua qualidade nutricional e sensorial, disponibilizando ao mercado consumidor um alimento diferenciado.

Pelo fato da maior parte dos trabalhos relacionados ao enriquecimento de ovos com AGPI n-3 terem sido realizados com galinhas, e raros os resultados para codornas, objetivou-se avaliar o desempenho zootécnico e a qualidade dos ovos de codornas japonesas alimentadas com rações suplementadas com diferentes níveis de óleo de linhaça, como também analisar o tempo de incorporação dos ácidos graxos na gema.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Local, aves, dietas e manejo

O experimento foi conduzido no setor de Avicultura do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa (UFV)-Minas Gerais, no período de maio a julho de 2011, com duração de 84 dias divididos em quatro períodos de 21 dias cada (Processo nº 33/2012, aprovado pelo Comitê de Ética para Uso de Animais do Departamento de Zootecnia da UFV).

Foi realizada a criação de um plantel com 700 codornas japonesas (*Coturnix coturnix japonica*) até o pico de postura, das quais 320 aves, com aproximadamente 110 dias de idade, foram selecionadas para receber rações com diferentes níveis de substituição do óleo de soja pelo óleo de linhaça.

O óleo de linhaça substituiu o óleo de soja em 0, 25, 50, 75 e 100%, perfazendo os níveis de 0,0; 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0% de óleo de linhaça na ração, de acordo com as seguintes combinações:

T1- Ração com 100% de óleo de soja e 0% de óleo de linhaça

T2 - Ração com 75% de óleo de soja e 25% de óleo de linhaça

T3 - Ração com 50% de óleo de soja e 50% de óleo de linhaça

T4 - Ração com 25% de óleo de soja e 75% de óleo de linhaça

T5 - Ração com 0% de óleo de soja e 100% de óleo de linhaça

Foram utilizados na composição das rações experimentais o óleo de soja degomado e o óleo de linhaça bruto, ambos próprios para a alimentação animal.

As exigências nutricionais foram baseadas na média obtida para codornas com peso entre 165 a 177 g, sendo que todos os nutrientes foram corrigidos pela densidade energética da ração e a composição nutricional dos alimentos foi de acordo com os dados determinados para aves publicados por Rostagno et al. (2011).

As rações foram formuladas para conter 20% de proteína bruta e 2.800 kcal de energia metabolizável/kg, sendo isocalóricas, isoprotéicas e isoaminoacídicas, a base de milho e farelo de soja (Tabela 1). Foi analisado o perfil de ácidos graxos dos óleos e das rações experimentais por cromatografia gasosa segundo a metodologia de Hartman & Lago (1973) (Tabela 2).

Tabela 1. Composições percentuais e valores nutricionais das rações experimentais na matéria natural para codornas japonesas em postura

Ingredientes	Óleo de Linhaça (%)				
	0	0,5	1,0	1,5	2,0
Milho grão	54,921	54,921	54,921	54,921	54,921
Farelo de Soja (45%)	34,049	34,049	34,049	34,049	34,049
Óleo de soja	2,000	1,500	1,000	0,500	0,000
Óleo de linhaça	0,000	0,500	1,000	1,500	2,000
Calcário calcítico	6,860	6,860	6,860	6,860	6,860
Fosfato bicálcico	1,093	1,093	1,093	1,093	1,093
Sal comum	0,333	0,333	0,333	0,333	0,333
DL- Metionina (99%)	0,341	0,341	0,341	0,341	0,341
L- Lisina HCL (79%)	0,140	0,140	0,140	0,140	0,140
L- Triptofano (99%)	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004
Cloreto de colina (60%)	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100
Suplemento vitamínico ¹	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100
Suplemento mineral ²	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050
Antioxidante ³	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Composição calculada:					
Energia metabolizável (kcal/kg)	2.800	2.800	2.800	2.800	2.800
Proteína bruta (%)	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
Metionina + cistina digestível (%)	0,894	0,894	0,894	0,894	0,894
Lisina digestível (%)	1,090	1,090	1,090	1,090	1,090
Treonina digestível (%)	0,683	0,683	0,683	0,683	0,683
Triptofano digestível (%)	0,229	0,229	0,229	0,229	0,229
Arginina digestível (%)	1,287	1,287	1,287	1,287	1,287
Valina digestível (%)	0,849	0,849	0,849	0,849	0,849
Isoleucina digestível (%)	0,797	0,797	0,797	0,797	0,797
Cálcio (%)	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000
Fósforo disponível (%)	0,310	0,310	0,310	0,310	0,310
Sódio (%)	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150

¹Composição/kg de produto: Vit. A:12.000.000 U.I., Vit D₃:3.600.000 U.I., Vit. E: 3.500 U.I., Vit B₁:2.500 mg, Vit B₂: 8.000 mg, Vit B₆:5.000 mg, Ácido pantotênico: 12.000 mg, Biotina: 200 mg, Vit. K: 3.000 mg, Ácido fólico: 1.500mg, Ácido nicotínico: 40.000 mg, Vit. B₁₂: 20.000 mg, Selênio: 150 mg, Veículo q.s.p.: 1.000g; ²Composição/kg de produto: Mn: 160g, Fe: 100g, Zn: 100g, Cu: 20g, Co: 2g, I: 2g, Veículo q.s.p.: 1000 g; ³Butil-hidróxi-tolueno, BHT (99%).

Tabela 2. Composição analisada em ácidos graxos dos óleos vegetais e das rações experimentais para codornas japonesas em postura (% do total de ácidos graxos)

Ácido Graxo	Óleo de Soja	Óleo de Linhaça	Rações experimentais				
			T1	T2	T3	T4	T5
Palmítico (C16:0)	10,37	5,40	33,99	32,15	31,67	31,11	13,93
Estearico (C18:0)	4,27	4,31	5,69	5,74	5,95	6,51	2,09
Oléico (C18:1)	25,04	19,47	12,67	12,13	11,76	13,15	24,25
Ácido Linoléico (C18:2 n-6)	54,00	13,44	30,67	31,29	30,43	30,75	27,27
Ácido Linolênico (C18:3 n-3)	6,32	57,29	2,88	3,70	4,66	5,54	11,29
Relação n-6/n-3	8,54	0,23	10,65	8,46	6,53	5,55	4,19

Análises em duplicata.

T1- 2% de óleo de soja e 0% de óleo de linhaça; T2 - 1,5% de óleo de soja e 0,5% de óleo de linhaça; T3 - 1,0% de óleo de soja e 1,0% de óleo de linhaça; T4 - 0,5% de óleo de soja e 1,5% de óleo de linhaça; T5 - 0% de óleo de soja e 2,0% de óleo de linhaça

As aves foram alojadas em gaiolas de arame galvanizado, com as dimensões de 100 x 34 x 16 cm (comprimento x largura x altura), contendo quatro divisórias de 25 x 34 cm totalizando 850 cm². A densidade animal por unidade experimental foi de 106 cm²/ave.

As rações experimentais foram fornecidas à vontade, duas vezes ao dia, em comedouro de chapa metálica galvanizada, tipo calha, percorrendo toda a extensão das gaiolas, o comedouro foi dividido de acordo com cada tratamento e repetição. A água também foi fornecida à vontade em bebedouro tipo *nipple* com copinho, sendo um bebedouro para cada duas unidades experimentais.

O manejo diário consistiu em recolher e contabilizar os ovos (foram computados diariamente o número de ovos quebrados, trincados, com casca mole e sem casca), fornecer a ração, limpar os aparadores de ovos e realizar leitura das temperaturas (máxima e mínima) e umidade relativa do ar (UR).

Foram monitoradas as temperaturas e a UR duas vezes ao dia, às 8 e às 16 horas, por meio de termômetros de máxima e mínima e de bulbo seco e úmido, posicionados no centro do galpão, à altura do dorso das aves.

Foram fornecidas 16 horas de luz diárias durante todo o período experimental. Este fornecimento de luz foi controlado por um relógio automático (*timer*), que permitia o acender e o apagar das luzes durante o período da noite e da madrugada, conforme o procedimento adotado nas granjas comerciais.

2.2. Parâmetros avaliados

Foi avaliado o desempenho zootécnico (consumo de ração; produção de ovos [ave/dia e ave alojada]; produção de ovos comercializáveis; peso médio e massa de

ovos; conversão alimentar por dúzia e por massa de ovos e viabilidade das aves); a qualidade dos ovos (peso específico, peso e porcentagem dos componentes e intensidade da cor amarela das gemas) e o tempo de incorporação dos ácidos graxos da gema *in natura*. Na análise estatística, com exceção para este último parâmetro, foi utilizada a média dos quatro períodos de 21 dias de cada parâmetro avaliado.

Ao final de cada período experimental, de 21 dias, as sobras de ração de cada parcela foram pesadas e descontadas da quantidade de ração fornecida a fim de se obter o consumo de ração. No caso de aves mortas durante o período, seu consumo médio foi descontado e corrigido, obtendo-se o consumo médio verdadeiro para a unidade experimental em questão.

Os ovos foram colhidos diariamente às 8:00 horas. A produção média de ovos foi obtida computando-se o número de ovos produzidos, incluindo os quebrados, os trincados e os anormais (ovos com casca mole e sem casca) sendo expressa em porcentagem sobre a média de aves do período (ovo/ave/dia) e, sobre o número de aves alojadas no início do experimento (ovo/ave alojada). Para determinação da produção de ovos comercializáveis, em cada período de 21 dias, foi descontado o número de ovos quebrados, trincados, com casca mole e sem casca da produção total de ovos, sendo então calculada a relação entre os ovos íntegros e totais de ovos produzidos durante cada período.

Todos os ovos íntegros produzidos em cada repetição foram pesados durante os três últimos dias de cada período de 21 dias para obtenção do peso médio. O peso médio dos ovos foi multiplicado pela produção de ovos/ave/dia, obtendo-se assim a massa total de ovos.

A conversão alimentar por dúzia de ovos foi calculada pela relação do consumo total de ração em kg dividido pela dúzia de ovos produzidos (kg/dz) e a conversão alimentar por massa de ovos foi obtida pelo consumo de ração em quilogramas dividido pela massa total de ovos (kg/kg).

A mortalidade das aves foi monitorada diariamente, para que ao final do período experimental fosse obtida a taxa de viabilidade das aves, calculada pela diferença do número de aves vivas pelo número de aves mortas, sendo o resultado final convertido em porcentagem.

O peso específico dos ovos foi determinado no 16º, 17º e 18º dia de cada período de 21 dias, através da imersão dos ovos íntegros em soluções salinas com densidade

variando de 1,055 a 1,090 g/cm³, com intervalos de 0,005 g/cm³, devidamente calibradas por meio de um densímetro (OM-5565, Incoterm[®]).

Para quantificação dos componentes dos ovos foram avaliados o peso da gema, o peso do albúmen e o peso da casca do ovo. Para isso, no 19º, 20º e 21º dia de cada período de 21 dias foram coletados todos os ovos íntegros de cada repetição, dos quais foram selecionados aleatoriamente quatro ovos. Os ovos de cada repetição e de cada dia foram pesados individualmente em balança com precisão de 0,001 g. Após as pesagens, os ovos foram identificados, em seguida quebrados e procedeu-se a separação da gema e do albúmen. O peso da gema de cada ovo foi registrado e em seguida a gema foi destinada à determinação da pigmentação. O peso do albúmen foi obtido entre a diferença do peso do ovo menos o peso da gema mais o peso da casca, sendo este obtido após lavagem da casca e posterior secagem ao ar por 72 horas. A porcentagem de albúmen, gema e casca foi obtida dividindo-se os pesos dos respectivos componentes pelo peso médio dos ovos e o resultado foi multiplicado por 100.

Foi avaliada a intensidade da cor amarela (valor de b*) das gemas através do modo direto de caracterização cromática utilizando-se a colorimetria de triestímulos, no sistema CIELAB, por meio do colorímetro Minolta CR 400 (Konica Minolta Sensing, Inc.). No sistema de cores CIELAB utiliza-se três coordenadas do croma (L*, a* e b*) para descrever o padrão cromático da gema. O valor de L* define os valores de luminosidade, que varia do preto (L=0) ao branco (L=100); a* indica a região do vermelho (+a) ao verde (-a) e o b* do amarelo (+b) ao azul (-b). O colorímetro foi previamente calibrado em superfície branca, de acordo com padrões pré-estabelecidos pelo equipamento. Após esse procedimento, as quatro gemas por repetição, utilizadas na quantificação dos componentes dos ovos, foram colocadas em placa de *Petri* de vidro sobreposta em placa branca. Para cada repetição, o registro das coordenadas de cor foi realizado em cinco diferentes pontos da placa contendo as gemas, cujos resultados foram expressos como a média dos cinco registros da coordenada b*.

Foi determinado o perfil de ácidos graxos das gemas dos ovos das codornas no tempo zero (antes do fornecimento das rações experimentais); 3º, 6º, 9º, 12º, 15º, 21º e 45º dia experimental. De modo a se obter uma amostra para cada duas unidades experimentais (“pool” de seis gemas), foram coletados aleatoriamente três ovos por unidade experimental, totalizando 24 ovos por tratamento. Os ovos foram quebrados e as gemas separadas manualmente do albúmen, em seguida foram homogeneizadas com colher descartável em placa de *Petri*, colocadas em recipientes de alumínio com tampa.

As amostras foram pesadas, liofilizadas e armazenadas em freezer a -18°C até a realização das análises.

2.3. Análises químicas

A determinação do perfil dos ácidos graxos nas gemas foi realizada por cromatografia gasosa utilizando-se o método de metilação direta de acordo com Wang et al. (2000). Foram pesados aproximadamente 50 mg de gema liofilizada em um tubo de esterificação. Foi acrescentado 2,0 mg/mL do padrão interno (ácido nonadecanóico, C19:0) em hexano, 1 mL de metanol e 3 mL de HCl metanólico 3N. Os tubos foram fechados e apertados firmemente e levados ao banho-maria a 95°C por uma hora. Após resfriarem a temperatura ambiente, adicionou-se 8 mL de solução de NaCl 0,88% e 3 mL de hexano, em seguida, o conteúdo foi misturado em agitador de tubos. Os tubos foram mantidos em repouso até a separação das fases. Recolheu-se a camada superior que foi transferida para um vidro âmbar devidamente identificado. As amostras foram mantidas em freezer para posterior injeção no cromatógrafo gasoso.

Os metil ésteres dos ácidos graxos foram identificados por comparação com os tempos de retenção do padrão. O conteúdo dos ácidos graxos das gemas dos ovos foi expresso em porcentagem.

Foram adotadas as seguintes condições cromatográficas: coluna capilar de sílica fundida, Carbowax 100M (100 m x 0,25 mm d.i), através do detector ionização de chama com a seguinte programação: temperatura inicial de 140°C mantida por 5 minutos, aumento da temperatura até 240°C à razão de 4°C por minuto e mantida por 20 minutos utilizando-se o gás de arraste mistura de oxigênio:nitrogênio (2:2) + hidrogênio+ nitrogênio, com um fluxo de 1 mL/min, e a temperatura do injetor de 240°C e do detector de 260°C.

2.4. Delineamento experimental e análises estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância e regressão através do programa estatístico SAS 2008, versão 9.2 (SAS Inst., Cary, Estados Unidos).

O delineamento experimental utilizado na avaliação dos parâmetros de desempenho e qualidade de ovos foi o inteiramente casualizado constituído de cinco níveis de óleo de linhaça na ração (0; 0,5; 1,0; 1,5 e 2%) com oito repetições e oito aves por unidade experimental. Uma vez que o nível de óleo de linhaça é um fator quantitativo, a determinação do melhor nível foi verificada por meio de análise de

regressão conforme melhor ajuste obtido para cada parâmetro levando-se em consideração o comportamento biológico das aves.

Para a avaliação do tempo de incorporação dos ácidos graxos da gema *in natura*, adotou-se um delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 5 x 8, sendo cinco níveis de óleo de linhaça (0; 0,5; 1,0; 1,5 e 2%) e oito tempos de incorporação (0, 3, 6, 9, 12, 15, 21 e 45º dia) com quatro repetições de seis gemas cada (“pool”). Na ocorrência de interação significativa entre níveis de óleo de linhaça e tempo de incorporação de ácidos graxos na gema realizou-se análise de regressão múltipla a fim de obter uma equação com a combinação de ambos os fatores (níveis e tempo) que melhor descrevesse o comportamento dos dados. Na ausência de interação, foram realizadas análises de regressão simples considerando níveis e tempo como variáveis independentes.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Desempenho zootécnico das codornas

As temperaturas máxima e mínima observadas durante o experimento foram de $24,9 \pm 1,7^{\circ}\text{C}$ e $12,5 \pm 2,5^{\circ}\text{C}$, respectivamente, e a umidade relativa do ar dentro do galpão foi de $74 \pm 4,1\%$.

A substituição do óleo de soja pelo óleo de linhaça não provocou efeito significativo ($P>0,05$) sobre nenhum dos parâmetros de desempenho das codornas (Tabela 3). Durante todo o período experimental, tanto a produção de ovos comercializáveis quanto a produção de ovos/ave/dia se manteve, em média, acima de 90% em todos os tratamentos, isso demonstra que a inclusão de até 2% de óleo de linhaça na ração não prejudicou o desempenho das codornas.

Tabela 3. Desempenho de codornas japonesas alimentadas com ração com diferentes níveis de óleo de linhaça

Parâmetro	Óleo de linhaça					P-Valor	CV (%)
	0%	0,5%	1,0%	1,5%	2,0%		
Consumo de ração (g/ave/dia)	27,00	27,04	26,61	26,68	26,86	0,7633	2,94
Produção de ovos/ave/dia (%)	90,79	92,77	90,61	91,97	91,94	0,7306	3,91
Produção de ovos comercializáveis (%/ave/dia)	89,82	91,99	89,09	91,29	90,41	0,6663	4,76
Produção de ovos/ave alojada (%)	89,25	92,38	90,27	89,93	91,34	0,6819	5,07
Peso do ovo (g)	12,00	12,01	12,00	11,99	11,90	0,8158	1,76
Massa de ovos (g/ave/dia)	10,67	10,98	10,67	10,77	10,61	0,5905	4,62
Conversão alimentar (kg /kg)	2,51	2,46	2,48	2,45	2,49	0,8282	4,28
Conversão alimentar (kg/dúzia)	0,361	0,355	0,357	0,353	0,355	0,8559	4,38
Viabilidade (%)	93,75	98,44	98,44	92,19	96,88	0,3719	7,98

CV = Coeficiente de Variação

Em experimento análogo com galinhas poedeiras semipesadas, Costa et al. (2008) ao incluírem 0,0; 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0% de óleo de linhaça em substituição, respectivamente, a 100, 75, 50, 25 e 0% do óleo de soja da dieta das aves, observaram que a inclusão máxima de 2% de óleo de linhaça na ração não influenciou nenhuma das características de desempenho avaliadas. Os autores salientaram tanto a alta taxa de postura, mantida acima de 80% em todos os tratamentos, durante todo o experimento, quanto a produção de ovos que foi similar para galinhas poedeiras alimentadas com a ração contendo somente óleo de soja e aquelas que receberam ração que continha apenas óleo de linhaça.

Santos et al. (2009) constataram que galinhas poedeiras leves que consumiram rações com adição de 2% óleo de linhaça e 2% óleo de soja apresentaram maior porcentagem de postura, a qual diferiu estatisticamente das aves alimentadas com rações sem óleo, 4% óleo de linhaça e 4% óleo de algodão.

O óleo de soja e o óleo de linhaça, utilizados nas rações experimentais, apresentam composição rica em ácidos graxos insaturados (85 e 90% do total de ácidos graxos, respectivamente – Tabela 2), que por sua vez, são muito susceptíveis à oxidação. De acordo com Scott et al. (1982), o processo de oxidação lipídica é a principal causa da perda de qualidade do alimento ou da ração, pois afeta o sabor, o aroma, a cor e a textura e resulta, ainda, na produção de compostos tóxicos, o que reduz o valor nutritivo do alimento. No presente experimento, com o emprego do antioxidante BHT nas rações (Tabela 1), a oxidação dos ácidos graxos foi reduzida ou até mesmo impedida, dessa forma, não houve danos na qualidade nem na palatabilidade das rações, assim, o consumo de ração pelas codornas não foi prejudicado em nenhum dos tratamentos (Tabela 3).

Santos et al. (2009) observaram que as galinhas alimentadas com rações contendo 4% óleo de soja, 2% óleo de linhaça e 2% ou 4% óleo de algodão apresentaram consumo de ração similar. Já Faitarone (2010) verificou que galinhas poedeiras leves apresentaram menor consumo de ração quando receberam rações sem inclusão de óleo ou suplementadas com 2,5% óleo de linhaça + 2,5% óleo de canola comparadas às aves alimentadas com rações suplementadas com 2,5% de óleo de soja e 2,5% óleo de linhaça + 2,5% óleo de soja, sendo que os demais tratamentos (2,5% óleo de linhaça; 2,5% óleo de canola; 5% óleo de linhaça; 5% óleo de canola; 5% de óleo de soja; 2,5% óleo de canola + 2,5% de óleo de soja) apresentaram valores intermediários e não diferiram entre si.

O peso dos ovos das codornas alimentadas com ração contendo ou não óleo de linhaça apresentaram valores semelhantes (Tabela 3), o mesmo foi observado por Santos et al. (2009) que verificaram que galinhas que receberam ração com 2% óleo de soja apresentaram peso dos ovos similares ao das aves alimentadas com rações suplementadas com 2% ou 4% óleo de linhaça.

Apesar da análise de variância ter indicado haver diferenças significativas entre os tratamentos para o peso dos ovos ($P=0,0406$) de galinhas alimentadas com ração sem óleo ou inclusão de 2,5 ou 5% de óleo de soja, óleo de linhaça e óleo de canola, Faitarone (2010) salientou que o teste Tukey, ao nível 5% de significância, não detectou tais diferenças.

Santos et al (2009) constataram que galinhas submetidas à dieta sem adição de óleo, que tiveram como aporte de ácido linoléico (C18:2 n-6, AL) apenas o milho e o farelo de soja, não produziram, necessariamente, ovos com menor peso em relação aos das aves alimentadas com dietas suplementadas com 2 ou 4% óleo de soja, de linhaça ou de algodão. Muramatsu et al. (2005) também não observaram efeito de níveis crescentes de inclusão de óleo de soja (e, por conseguinte maiores teores de AL dietético) sobre o peso dos ovos de galinhas poedeiras leves. Jensen & Shutze (1963) afirmaram que a inclusão do AL incrementa o peso do ovo e da gema, mas que esses efeitos somente são visíveis com o uso de dietas deficientes em AL como testemunhas.

Leeson & Summers (1997) reportaram que a proteína, os aminoácidos e o AL são os fatores nutricionais mais importantes que afetam o peso do ovo. No presente experimento, as codornas receberam rações formuladas para conter níveis idênticos de energia metabolizável, proteína bruta, minerais e aminoácidos (Tabela 1), sendo assim, provavelmente, os nutrientes ingeridos pelas codornas foram suficientes, para que o peso médio dos ovos tenha se mantido estável.

As conversões alimentares (dúzia ou massa de ovos) de codornas alimentadas com rações suplementadas ou não com óleo de linhaça não apresentaram diferenças significativas ($P>0,05$). De forma semelhante Faitarone (2010) observou que a conversão alimentar por dúzia de ovos não foi afetada pela utilização de ração sem óleo ou ração suplementada com 2,5 ou 5% de óleo de soja, de linhaça ou de canola para galinhas poedeiras, entretanto, a conversão alimentar por kg de ovos produzidos, influenciada significativamente pelos tratamentos experimentais, foi melhor para galinhas alimentadas com rações com inclusão de 2,5% óleo de canola + 2,5% óleo de soja quando comparadas com as aves alimentadas com rações adicionadas de 2,5% óleo

de canola e de 2,5% óleo de soja, as quais apresentaram piores conversões, enquanto os demais tratamentos apresentaram valores intermediários e não diferiram entre si.

3.2. Características de qualidade interna e externa dos ovos de codorna

Não houve efeito ($P>0,05$) dos níveis de substituição do óleo de soja pelo óleo de linhaça sobre a qualidade interna e externa dos ovos das codornas, com exceção da intensidade da coloração amarela da gema (valor de b^*) que aumentou de forma linear ($P<0,05$) com a inclusão de óleo de linhaça na ração (Tabela 4).

Tabela 4. Qualidade interna e externa de ovos de codornas japonesas alimentadas com dietas com diferentes níveis de óleo de linhaça

Parâmetro	Óleo de linhaça					P-Valor	CV (%)
	0%	0,5%	1,0%	1,5%	2,0%		
Peso específico (g/cm³)	1,075	1,076	1,075	1,075	1,075	0,8161	0,13
Peso da casca (g)	0,969	0,974	0,965	0,975	0,959	0,9090	3,72
Casca (%)	8,074	8,105	8,043	8,131	8,068	0,9634	3,12
Peso do albúmen (g)	7,426	7,453	7,442	7,416	7,329	0,6369	2,34
Albúmen (%)	61,893	62,065	61,996	61,847	61,587	0,6206	1,03
Peso da gema (g)	3,603	3,582	3,597	3,599	3,609	0,9566	2,00
Gema (%)	30,033	29,830	29,962	30,022	30,345	0,5251	1,98
Cor da gema (valor de b^*)¹	34,729	34,816	34,997	35,834	35,786	0,0113	2,21

CV = Coeficiente de Variação

¹ $Y = 34,6057 + 0,626419 x$; $R^2 = 0,85$

De acordo com Al Daraji et al. (2010), ensaios realizados no passado se concentraram em como dietas à base de linhaça afetavam os parâmetros de qualidade de ovos de galinha, entretanto, escassos são os relatos sobre as características de qualidade interna e externa de ovos de codornas alimentadas com linhaça, o que dificulta em parte a discussão dos resultados.

Al Daraji et al. (2010) atribuíram os resultados positivos de peso do ovo; diâmetro, altura e peso da gema; altura do albúmen; espessura de casca e unidade Haugh obtidos com codornas japonesas alimentadas com rações suplementada com semente de linhaça (2, 4 ou 6%) à regulação do metabolismo hormonal pela ingestão de fitoestrógenos, como isoflavonas e lignanas, que são compostos fitoquímicos similar ao estrogênio, presentes em elevada quantidade na linhaça.

Semelhante ao verificado neste estudo com ovos de codornas, Costa et al. (2008) constataram que o óleo de linhaça não interferiu negativamente no peso específico dos ovos de galinhas poedeiras semipesadas, uma vez que em todos os tratamentos os

valores foram superiores a 1,080 g/cm³, indicado como ideal por diversos autores, demonstrando que os ovos produzidos apresentaram boa qualidade da casca.

A média do peso específico dos ovos de codornas alimentadas com rações com diferentes níveis de inclusão de óleo de linhaça foi 1,075 g/cm³, numericamente maior do que a média observada por Roll et al. (2011) de 1,073 g/cm³. Segundo os autores, os valores de peso específico de ovos de codorna que apresentam boa qualidade são inferiores aos de ovos de galinhas poedeiras comerciais, mesmo que de pior qualidade, que giram em torno de 1,064 a 1,072, o que reflete, portanto, que o óleo de linhaça adicionado à dieta das codornas não comprometeu a boa qualidade externa dos ovos.

O peso específico é uma estimativa da quantidade de casca depositada e está relacionada à porcentagem de casca (Costa et al., 2008). Sendo assim, como o peso específico não foi alterado ($P>0,05$) pela substituição do óleo de soja pelo óleo de linhaça na ração das codornas, tanto o peso quanto a porcentagem de casca não apresentaram valores distintos ($P>0,05$) entre os tratamentos. Costa et al. (2008), em estudo análogo com galinhas poedeiras semipesadas, verificaram que os ovos produzidos por aves alimentadas com rações contendo óleo de soja ou de linhaça e a combinação entre eles apresentaram peso e porcentagem similar de casca.

Santos et al. (2009) não detectaram diferenças significativas na porcentagem de casca nos ovos de galinhas arraçadas com dietas contendo 2 ou 4% de óleo de soja, de linhaça ou de algodão comparadas à ração sem óleo. Estes resultados são coerentes aos encontrados por Faitarone (2010) que não observou diferenças significativas entre os tratamentos com suplementação de óleo e o tratamento controle (sem óleo), administrados à galinhas poedeiras, para os parâmetros que refletem a qualidade da casca dos ovos (gravidade específica, resistência da casca à quebra, espessura de casca e porcentagem de casca).

Contudo, Muramatsu et al. (2005) ao fornecerem para galinhas poedeiras leves rações sem adição de óleo ou com inclusão de 2,5; 3,5 e 4,5% de óleo de soja em rações à base de milho e 3,3; 4,3 e 5,3% de óleo de soja em rações à base de milheto constataram que os maiores níveis de inclusão do óleo de soja prejudicou significativamente a qualidade da casca demonstrado pelos menores valores encontrados para peso e espessura da casca. Segundo os autores, o lipídio em alta concentração na dieta pode combinar com o cálcio, formando sabões dificultando a absorção desse nutriente.

Médias totais de peso da casca não foram significativamente diferentes de ovos de codornas que consumiram ração com 0, 2, 4 ou 6% de semente de linhaça, no entanto, a porcentagem de casca foi estatisticamente reduzida em ovos de codornas alimentadas com linhaça comparada ao grupo controle (Al Daraji et al., 2010).

Os pesos e as porcentagens de albúmen e de gema de ovos de codornas não foram influenciados ($P>0,05$) pelo fornecimento de rações suplementadas ou não com óleo de linhaça.

Santos et al. (2009) quando suplementaram a ração de galinhas poedeiras com 4% de óleo de linhaça constataram menor porcentagem de gema e maior porcentagem de albúmen comparado aos demais tratamentos (ração sem óleo, 2 ou 4% óleo de soja, 2% óleo de linhaça e 2 ou 4% óleo de algodão), que, por sua vez, não diferiram entre si. Os autores atribuíram essa redução na porcentagem de gema dos ovos à deficiência de ácido linoléico (AL) na ração suplementada com 4% óleo de linhaça, pois segundo Balvane (1970), rações deficientes em AL promovem redução de até 10 g no peso dos ovos, sendo a gema o componente mais afetado. Butolo (2002) constatou a presença de 50%, 6% e 54% de AL nos óleos de algodão, de linhaça e de soja, respectivamente. Na presente pesquisa, a utilização de até 2% óleo de linhaça na ração das codornas pode não ter provocado carência de AL, uma vez que o óleo de linhaça utilizado nesta pesquisa (Tabela 2) apresentou mais que o dobro do teor de AL (13,44%) em relação ao teor de 6% constatado por Butolo (2002).

Ao contrário das observações de Santos et al. (2009), Muramatsu et al. (2005) não detectaram influência alguma dos níveis crescentes de óleo de soja (e consequentemente de AL) no peso do albúmen, da gema e de sua porcentagem relativa ao peso do ovo das galinhas poedeiras alimentadas com rações à base de milho ou milheto.

A pesquisa conduzida por Al Daraji et al. (2010) indicou que os ovos produzidos por codornas alimentadas com rações suplementadas com semente de linhaça nas proporções de 2, 4 ou 6% apresentaram maior porcentagem de albúmen em comparação com aqueles oriundos de codornas que receberam a ração controle (0% semente de linhaça) e que a adição de semente de linhaça à dieta das codornas não diminuiu significativamente a porcentagem de gema.

Concordando com os achados desta pesquisa com codornas alimentadas com níveis crescentes de óleo de linhaça, Faitarone (2010) ao suplementarem a ração de

galinhas poedeiras com 2,5 ou 5% óleo de soja, de linhaça e de canola também não verificaram alterações significativas nas porcentagens de gema e de albúmen dos ovos.

Semelhante ao observado nesta pesquisa com codornas, em que apenas a intensidade da cor amarela da gema foi afetada pela inclusão de óleo de linhaça à dieta, Costa et al (2008) não observaram efeito dos níveis de substituição do óleo de soja pelo óleo de linhaça sobre a qualidade interna e externa dos ovos de galinhas semipesadas, à exceção da coloração da gema, mensurada através de leque colorimétrico, que foi significativamente mais intensa nos ovos de aves alimentadas com as rações contendo mais que 1% de óleo de linhaça em relação à dieta controle (sem adição de óleo).

Dependendo do ingrediente utilizado na ração de poedeiras para modificação dos níveis de ácidos graxos de ovos, podem ser percebidas alterações na intensidade de pigmentação da gema. A cor da gema não é indicativa de qualidade nutricional, mas sim do aspecto visual do ovo, fator determinante para aceitabilidade do produto pelo consumidor (Seibel, 2005).

Resultados contrários foram reportados por Santos et al. (2009), que verificaram, por meio da comparação visual com leque colorimétrico, maior índice de coloração da gema em ovos de galinhas poedeiras leves que consumiram a ração com 4% óleo de soja, o que não diferiu estatisticamente das aves arraçadas com as rações suplementadas com 4% óleo de linhaça ou 4% óleo algodão. Os ovos das galinhas alimentadas com ração contendo 2% óleo de linhaça mostraram o menor índice de coloração da gema, com resultados similares aos dos tratamentos com rações contendo 2% óleo de soja ou de algodão.

A pigmentação da gema pode variar de amarelo levemente claro à laranja escuro, conforme a alimentação, devido a pigmentos naturais e características individuais da ave. Com respeito à utilização do óleo vegetal, os resultados do experimento indicaram que as galinhas submetidas às rações contendo 4% de óleo de linhaça ou algodão produziram ovos com índice de coloração de gema significativamente similar, às aquelas alimentadas com dieta sem óleo (Santos et al., 2009).

Faitarone (2010) verificou que a cor da gema dos ovos provenientes das galinhas alimentadas com rações suplementadas com 5% óleo de linhaça e com 2,5% óleo de linhaça + 2,5% óleo de canola apresentaram coloração mais clara quando comparadas com gemas dos ovos das aves alimentadas com ração contendo 2,5% óleo de soja, 2,5% óleo de linhaça, 2,5% óleo de canola e ração sem suplementação de óleo.

De acordo com Oliveira et al. (2007), a pigmentação da gema do ovo é decorrente da incorporação de xantofilas (grupo de pigmentos carotenóides), sendo a luteína e a zeaxantina, as principais xantofilas presentes no milho, componente basal da maioria das rações para aves (55-60%). Nesta pesquisa, como a quantidade de milho adicionado às rações experimentais (Tabela 1) é idêntica para todos os tratamentos, assim sendo, atribui-se, ao aumento linear da intensidade da cor amarela da gema dos ovos das codornas à inclusão de óleo de linhaça às dietas das aves. Pretova & Vojtekova (1985) relataram a presença de luteína, β -caroteno e violaxantina (diepóxido de zeaxantina) na linhaça.

Em ovos de codornas, tem sido comum a ocorrência de gemas *in natura* produzidas com pigmentação deficiente, com redução na coloração das gemas de ovos cozidos, a forma mais frequente de consumo. Ovos de codornas cozidos com gemas pouco pigmentadas são menos atrativos para o consumidor e uma solução possível é a inclusão de corantes lipossolúveis às rações, que aumenta a deposição de carotenóides e a coloração das gemas (Oliveira et al., 2007). Assim, o óleo de linhaça adicionado à dieta das codornas além de melhorar a pigmentação da gema dos ovos, como constatado neste estudo (Tabela 4), pode promover o enriquecimento dos ovos com a incorporação de ômega 3, principalmente de alfa-linolênico (C18:3 n-3, AAL).

3.3. Concentração e tempo de incorporação dos ácidos graxos na gema

Detectou-se interação significativa ($P < 0,05$) para tempo de incorporação e nível de óleo de linhaça para a grande maioria dos ácidos graxos analisados (saturados; poli-insaturados; relação poli-insaturados:saturados; n-3 total; relação n-6/n-3; ácido alfa-linolênico [C18:3 n-3, AAL]; eicosapentaenoico [EPA]; docosahexaenoico [DHA]), assim procedeu-se com o desdobramento a fim de estabelecer o melhor ajuste de tempo e nível para cada um dos parâmetros (Tabela 5, Figura 1 a 3).

Foi determinado tempo médio de 20 dias de alimentação com 1,20% de óleo de linhaça na ração das codornas para que haja a estabilização do teor de ácidos graxos saturados, poli-insaturados e sua relação nos ovos.

Não foi possível estabelecer a melhor combinação de tempo de incorporação e nível de óleo de linhaça para o n-3 total, relação n-6/n-3, AAL, EPA e DHA devido às funções terem apresentado pontos de estacionaridade classificados como “ponto de sela”, ou seja, há direções para as quais se tem um ponto máximo e outras para as quais tem-se um ponto um mínimo. Assim, pode-se inferir que o conteúdo de AAL, EPA e n-

3 total das gemas dos ovos de codornas ainda poderiam ser aumentados com a inclusão de mais de 2% de óleo de linhaça na ração. Já o teor de DHA nos ovos das codornas, provavelmente aumentaria com o avançar do tempo de alimentação das codornas com óleo de linhaça, já que não foi possível estipular tempo ótimo de incorporação deste ácido graxo nos ovos.

Não foi observada interação significativa ($P>0,05$) entre tempo de incorporação e nível de óleo de linhaça para os demais parâmetros avaliados (ácidos graxos monoinsaturados e suas relações com saturados e poli-insaturados, total n-6, ácido linoléico [C18:2 n-6, AL] e ácido araquidônico [C20:4 n-6, AA]. Isoladamente, o tempo de incorporação influenciou significativamente ($P<0,05$) o conteúdo de todos esses ácidos graxos, exceto para o AA, já os níveis de óleo de linhaça afetaram de forma expressiva ($P<0,05$) apenas o teor de monoinsaturados e de AL dos ovos (Figura 4 e 5).

Observa-se que o tempo médio para incorporação na gema dos ácidos graxos monoinsaturados e suas relações com saturados e poli-insaturados, total n-6 e AL foi de 20 dias de alimentação das codornas com rações adicionadas com óleo de linhaça.

Tabela 5. Equações de regressão múltipla do tempo de incorporação (T) de ácidos graxos (%) na gema de ovos de codornas alimentadas com dietas com níveis (N) crescentes de óleo de linhaça

Ácido Graxo	Equação	R ²	Valor da variável Y		Tempo ótimo	Nível ótimo
			Máximo	Mínimo		
Saturado	$36,166933 - 1,835139 N - 0,179276 T + 0,003630 TN + 0,911675 N^2 + 0,005379 T^2$	0,3891	-	33,809	16,34	0,97
Poli-insaturado	$18,192239 + 2,512735 N + 0,558918 T + 0,034582 TN - 1,210795 N^2 - 0,013562 T^2$	0,6072	26,139	-	22,34	1,36
Relação Poli-insaturado:Saturado	$0,504746 + 0,101873 N + 0,019619 T + 0,000884 TN - 0,047748 N^2 - 0,000486 T^2$	0,5885	0,778	-	21,33	1,26
N-3 total	$-0,706847 - 0,523377 N + 0,212297 T + 0,033800 TN + 1,029006 N^2 - 0,004390 T^2$	0,5938	“Ponto de Sela” (1,840)		-	-
Relação n-6/n-3	$-1,606586 + 3,902693 N + 0,324166 T - 0,150594 TN - 0,500023 N^2 - 0,001446 T^2$	0,4209	“Ponto de Sela” (4,254)		-	-
Linolênico	$-0,020486 - 0,797466 N + 0,079312 T + 0,024342 TN + 0,806982 N^2 - 0,001965 T^2$	0,6063	“Ponto de Sela” (0,753)		-	-
Eicosapentaenoico	$-0,591986 - 0,098620 N + 0,133480 T + 0,002058 TN + 0,388708 N^2 - 0,002913 T^2$	0,3757	“Ponto de Sela” (0,935)		-	-
Docosahexaenoico	$-0,094375 + 0,372708 N - 0,000495 T + 0,007399 TN - 0,166684 N^2 + 0,000488 T^2$	0,5426	“Ponto de Sela” (0,087)		-	-

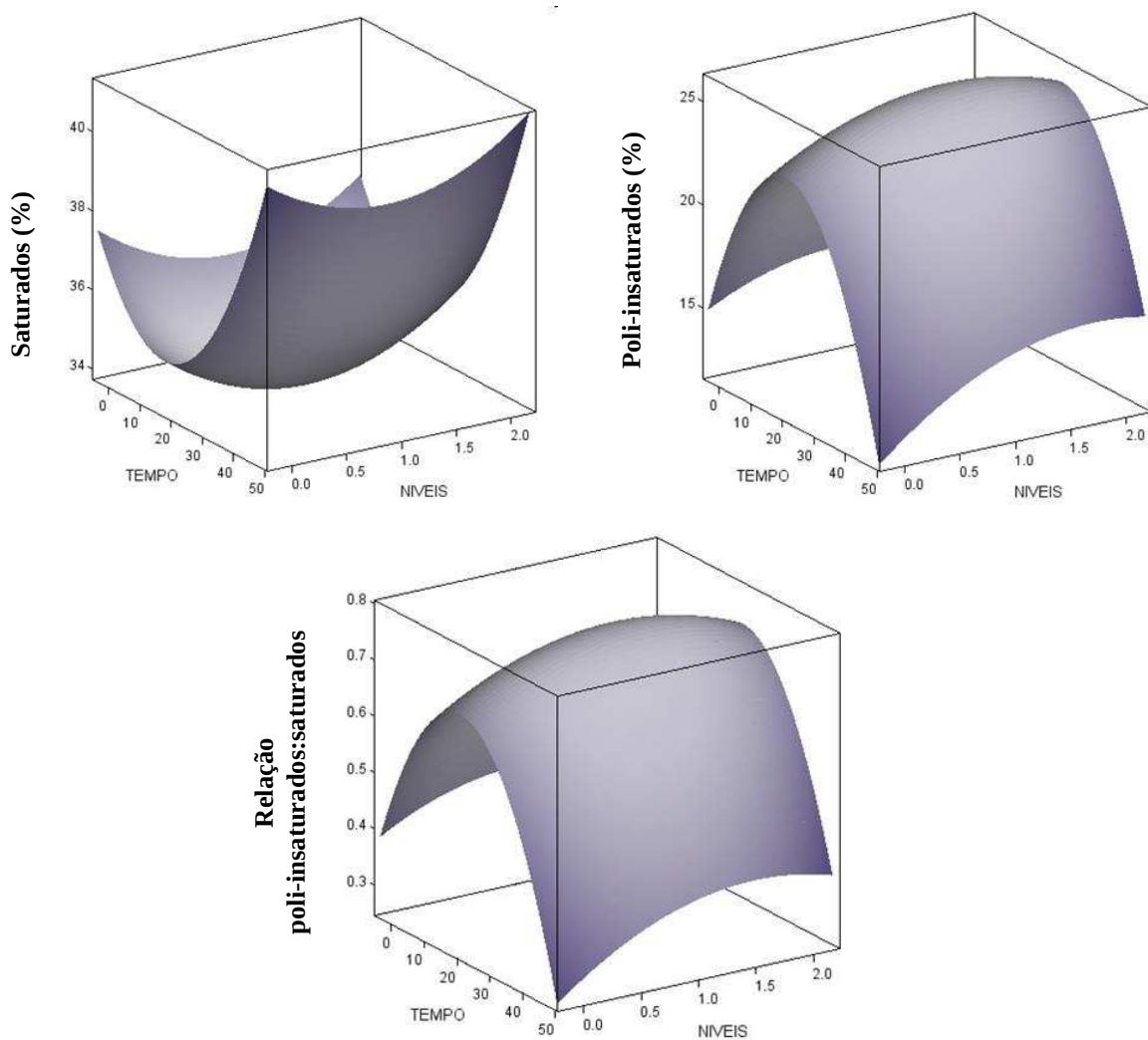


Figura 1. Superfície de resposta para o teor de saturados, poli-insaturados e relação poli-insaturados:saturados (% total de ácidos graxos) em ovos de codornas em função do nível de óleo de linhaça adicionado à ração e o tempo de incorporação desses ácidos graxos na gema.

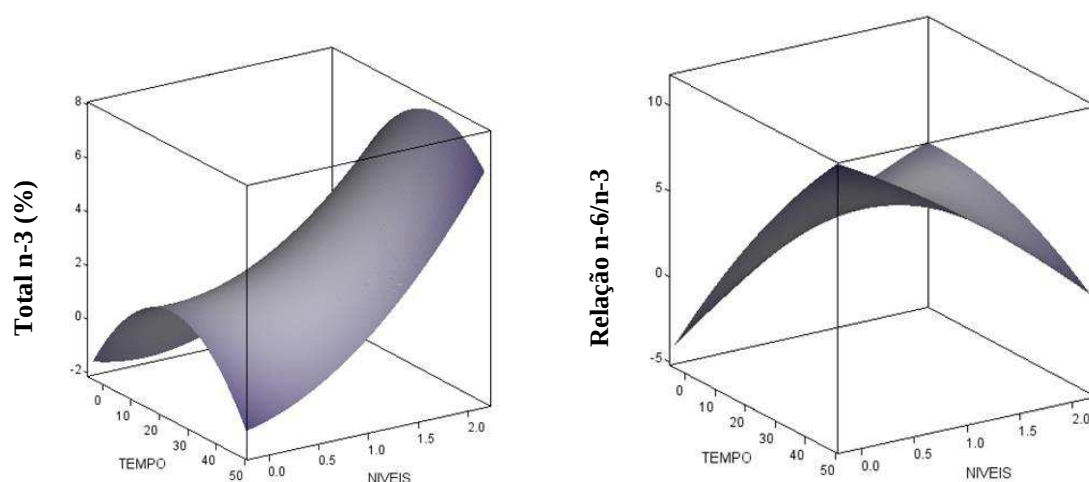


Figura 2. Superfície de resposta para o teor de ômega 3 (n-3 total) e relação n-6/n-3 (% total de ácidos graxos) em ovos de codornas em função do nível de óleo de linhaça adicionado à ração e o tempo de incorporação desses ácidos graxos na gema.

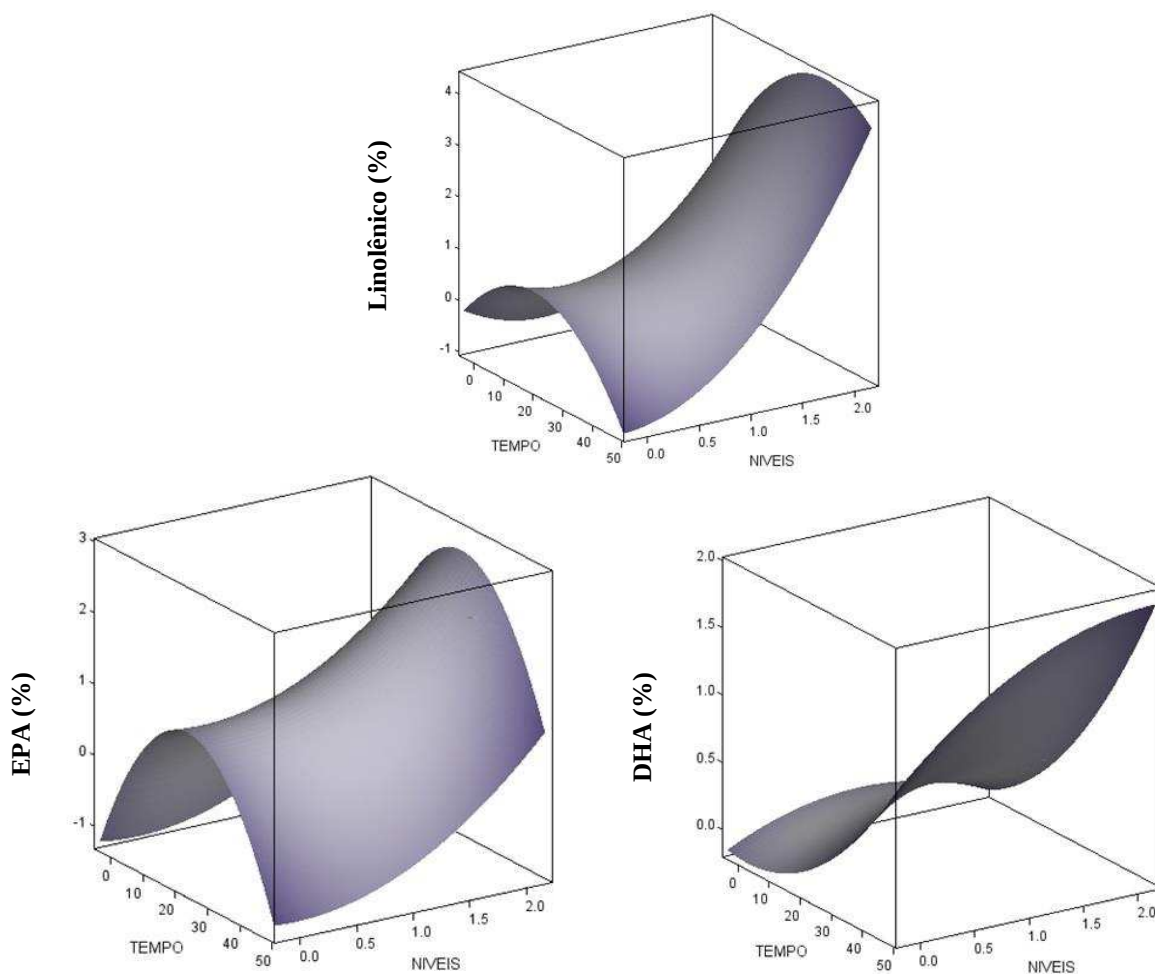


Figura 3. Superfície de resposta para o teor de ácido α -linolênico, eicosapentaenoico (EPA) e docosahexaenoico (DHA) (% total de ácidos graxos) em ovos de codornas em função do nível de óleo de linhaça adicionado à ração e o tempo de incorporação desses ácidos graxos na gema.

A suplementação com óleo de linhaça na ração das codornas reduziu o teor de ácidos graxos saturados dos ovos (menor valor com 16 dias de alimentação com 1% de óleo de linhaça – Tabela 5) enquanto o conteúdo de poli-insaturados e monoinsaturados aumentou, exibindo valor máximo com a inclusão de 1,4% de óleo de linhaça por 22 dias e teor mínimo com adição de 0,72% de óleo de linhaça e no 20º dia experimental, respectivamente (Tabela 5 e Figura 4). A redução no teor de ácidos graxos saturados e incremento de insaturados, especialmente de poli-insaturados, detectados nas gemas dos ovos provenientes de codornas que receberam ração suplementada com níveis crescentes de óleo de linhaça são explicados pela alta composição em ácidos graxos insaturados e baixo conteúdo de saturados deste óleo em comparação ao óleo de soja (Tabela 2) que, fornecido via dieta das aves, alterou diretamente o perfil lipídico dos ovos.

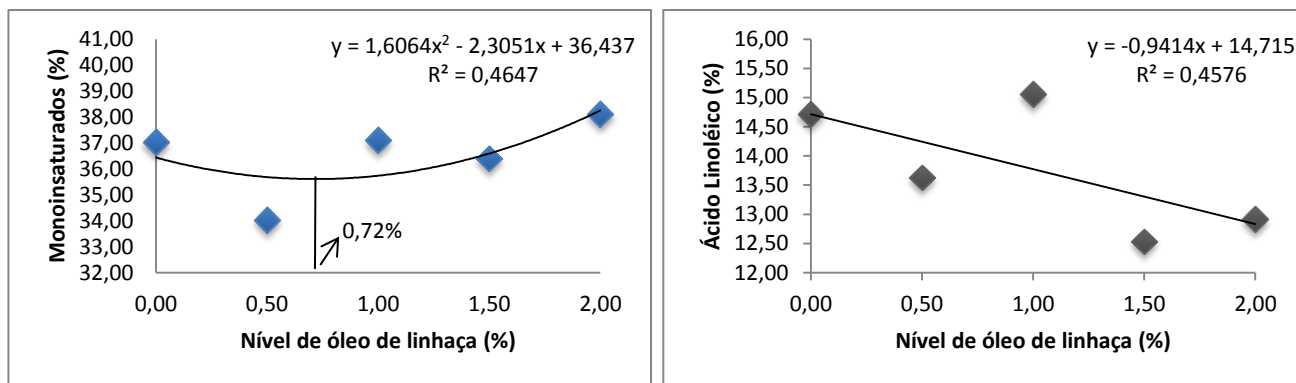


Figura 4. Conteúdo de ácidos graxos monoinsaturados e de ácido linoléico (% total de ácidos graxos) na gema de ovos de codornas alimentadas com rações suplementadas com níveis crescentes de óleo de linhaça.

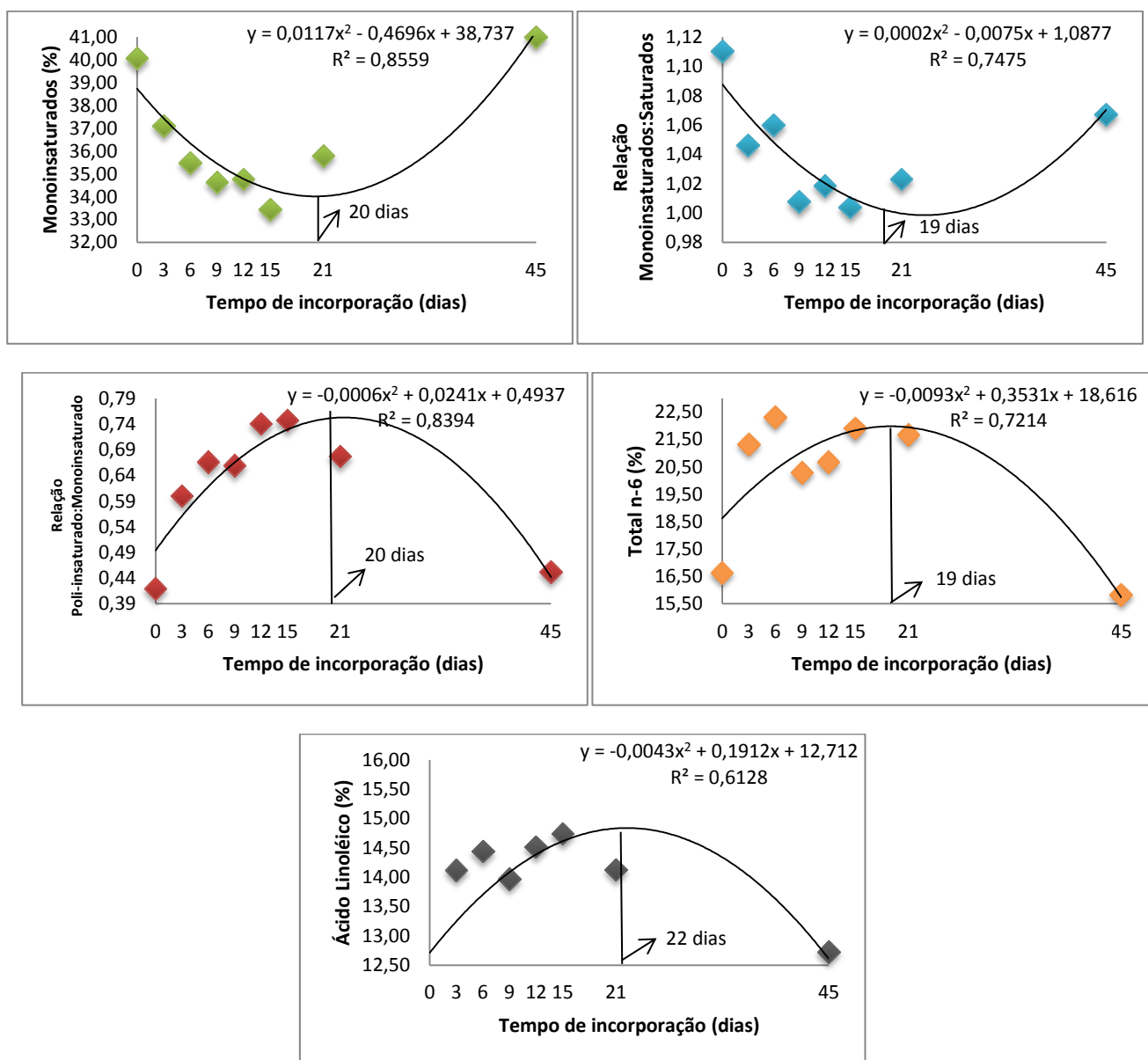


Figura 5. Tempo de incorporação de ácidos graxos monoinsaturados, relação monoinsaturados:saturados, relação poli-insaturados:monoinsaturados, total n-6 e ácido linoléico (% total de ácidos graxos) na gema de ovos de codornas alimentadas com rações suplementadas com níveis crescentes de óleo de linhaça.

Souza et al. (2008) também constataram alterações significativas no perfil de ácidos graxos de ovos de galinhas alimentadas com ração tendo o óleo de linhaça como substitutivo do óleo de soja até o nível de 2% na ração. Os tratamentos com nível de substituição de 75 e 100% (1,5 e 2,0% óleo de linhaça), quando comparados ao tratamento controle (sem óleo), promoveram menor conteúdo de ácidos graxos saturados, sendo que o tratamento com 2% óleo de linhaça promoveu máxima redução, o que, conseqüentemente, influenciou benéficamente a quantidade dos insaturados dos ovos, o que é desejável, do ponto de vista nutricional, a ingestão destes em substituição aos saturados. Os autores evidenciaram que a adição de óleo de linhaça à dieta das galinhas aumentou a quantidade de ácidos graxos poli-insaturados quando comparados ao tratamento controle, e que a relação insaturados:saturados foi aumentada significativamente quando confrontou-se a dieta contendo 2% óleo de linhaça com a sem inclusão de óleo (controle). De tal modo, Souza et al. (2008) destacam que a melhora na relação desses dois componentes na gema ressalta ainda mais as qualidades nutricionais dos ovos para a nutrição e saúde humana.

Em discordância ao verificado neste estudo com ovos de codornas, em que foram necessários em média 20 dias de alimentação das aves para que houvesse estabilização do teor da maioria dos ácidos graxos dos ovos, Pita et al. (2011) concluíram que a incorporação total dos ácidos graxos na gema de ovos de galinhas não ocorreu nos dois primeiros dias de experimento, sendo o período máximo de dez dias a consolidação dos teores dos diferentes ácidos graxos na gema dos ovos. Contudo, é importante salientar que Pita et al. (2011) forneceram as galinhas rações suplementadas com maior conteúdo de óleo (3%) em comparação com o teor máximo de 2% incluído nas rações das codornas da presente pesquisa (Tabela 1), o que pode explicar a estabilização mais rápida dos teores dos ácidos graxos nos ovos das galinhas.

Pita et al. (2011) constataram que, a partir do 8º dia experimental, o teor de ácidos graxos saturados na gemas de ovos de galinhas alimentadas com rações suplementadas com 3% de óleos vegetais (soja, milho, canola ou linhaça) ou 3% de óleo de sardinha + atum ou 3% óleo de salmão se mantiveram nas mesmas concentrações até o final do experimento (30º dia). Já para o teor de ácidos graxos poli-insaturados na gema, não foi possível demonstrar o dia do início da estabilização, no entanto, ao analisarem distintamente cada ácido graxo poli-insaturado, observaram comportamento muito específico de cada um. A adição das fontes lipídicas na dieta das galinhas promoveu teores decrescentes de n-6 total conforme o passar dos dias, tornando-se

estáveis a partir do 8º dia experimental. Já os teores de n-3 total na gema de ovos de galinhas aumentaram gradativamente até a estabilização no 8º dia experimental.

Hargis et al. (1991) ao fornecerem óleo de peixe para galinhas poedeiras observaram consolidação dos teores de n-6 total e n-3 total na gema dos ovos a partir da segunda e terceira semana experimental, respectivamente. Estes resultados não corroboram com os observados neste estudo com ovos de codornas em que o total n-6 e n-3 total dos ovos apresentaram estabilização dos seus teores a partir da terceira e quarta semana, respectivamente, de alimentação das codornas com níveis crescentes de óleo de linhaça (Tabela 5 e Figura 2 e 5).

No trabalho de Pita (2007), a administração dos óleos na dieta das galinhas promoveu diminuição progressiva do teor de AL e AA dos ovos, sendo que os valores percentuais estabilizaram-se a partir do 8º e 10º dia experimental, respectivamente. Os teores de AAL na gema dos ovos sofreram aumento gradativo até o 10º dia experimental, mantendo-se, a partir deste dia, constantes até o final da experimentação (30º dia), enquanto a incorporação de EPA nos ovos iniciou-se no quarto dia elevando-se gradativamente até o oitavo, se mantendo estável até o final do experimento. O DHA, por sua vez, teve seus teores aumentados a partir do segundo dia, sendo sua concentração permanecendo crescente até o oitavo dia, quando se estabilizou.

Ao contrário do observado por Pita (2007), neste estudo os teores de AL, AAL e EPA nos ovos das codornas apresentaram valores máximos a partir da quarta semana de alimentação, em média após 22 dias do fornecimento de rações suplementadas com óleo de linhaça (Figura 5 e Tabela 5). Já a análise simultânea do efeito do tempo de incorporação e nível de óleo de linhaça não permitiu estimar o período da estabilização do teor de DHA nos ovos (Tabela 5), o que sugere a necessidade de maior tempo de alimentação das codornas com maior inclusão de óleo de linhaça na ração.

O “ponto de sela” observado nas equações do n-3 total, AAL, EPA e DHA demonstram a impossibilidade de determinar a melhor combinação do tempo e nível de óleo de linhaça na ração (Tabela 5), sendo assim, pode-se inferir que a inclusão de até 2% óleo de linhaça na ração das codornas durante 45 dias não foi suficiente para incorporação máxima destes ácidos graxos nos ovos.

Deve-se considerar que o “ponto de sela” constitui-se em um ponto no qual uma função de duas variáveis possui derivadas parciais de primeira ordem nulas, mas que não é um ponto ótimo. Sendo assim, a ocorrência do “ponto de sela” para esses ácidos graxos é explicada, pelo fato de ter sido observado níveis “ótimos” de óleo de linhaça

nulos para n-3 total, AAL e EPA (0,00; 0,17; e 0,07) e também tempo “ótimo” igual à zero para o DHA, contudo, foi verificado que são necessários, em média, 23 dias para que haja o enriquecimento com ômega 3 (n-3 total, AAL e EPA) de ovos de codornas alimentadas com óleo de linhaça, uma vez que o tempo “ótimo” determinado pelas equações foram, respectivamente, 24; 21 e 23.

Contudo, ao analisar as Figuras 2, 3 e 6, observa-se maior incorporação nos ovos de n-3 total, AAL, EPA e DHA à medida que aumenta a inclusão de óleo de linhaça na ração das codornas, como também verificado por Silva et al. (2009), que as codornas japonesas alimentadas com rações com 1,5; 3,0 e 5,0% de semente de linhaça produziram ovos com maior conteúdo de n-3 total na gema (1,51; 2,36 e 3,07%, respectivamente) em comparação as que receberam a dieta controle (0% de semente de linhaça; 0,71%). Entretanto, o aumento de n-3 total foi atribuído pelos autores aos maiores teores de AAL, DHA e DPA (22:5 n-3, ácido docosapentaenoico) nos ovos produzidos por codornas que receberam semente de linhaça, o teor de AAL passou de 0,25% nos ovos das aves alimentadas com a dieta controle para 1,93% nos ovos provenientes de codornas alimentadas com 5% semente de linhaça, o de DHA de 0,37 para 0,93% e o de DPA de 0,08 para 0,20%.

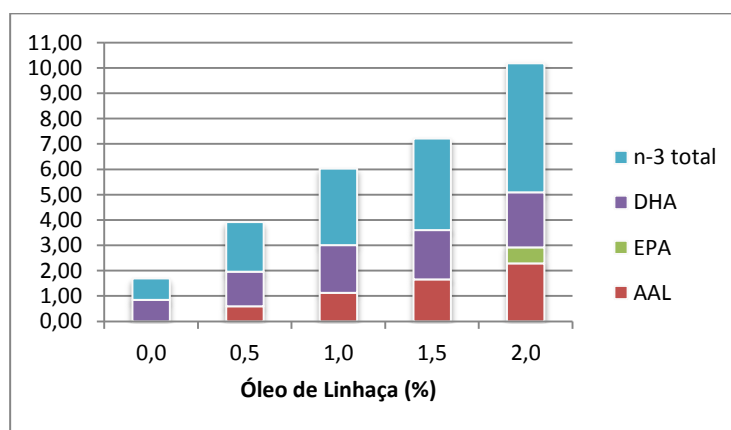


Figura 6. Teor (% do total de ácidos graxos) no 45º dia experimental de ácido alfa-linolênico (AAL) e seus derivados de cadeia longa, eicosapentaenoico (EPA) e docosahexaenoico (DHA), e n-3 total na gema de ovos de codornas alimentadas com rações suplementadas com níveis crescentes de óleo de linhaça.

Çitil et al. (2011) ao alimentarem codornas japonesas com rações sem e com suplementação de óleo de linhaça (1, 2 e 3%) constataram redução no teor de ácidos graxos saturados e sua relação com poli-insaturados nos ovos. Os autores verificaram maior incorporação de n-3 nos ovos oriundos de codornas alimentadas com óleo de linhaça, sendo significativamente maiores os teores de AAL e seus derivados de cadeia

longa, EPA e DHA, enquanto as quantidades de AL e AA reduziram promovendo maiores relação n-3/n-6 nos ovos.

Goyens et al. (2006) ao examinarem se a ingestão de AAL ou AL e sua relação influenciam o metabolismo de AAL em seres humanos, demonstraram que a conversão do AAL para os seus derivados de cadeia mais longa e mais insaturada não é determinado pela relação AAL:AL, nem pelas quantidades de AAL ou AL na dieta. A diminuição da ingestão de AL aumentou a porção do AAL dietético convertido em EPA. Por outro lado, o aumento da ingestão de AAL aumentou a quantidade absoluta de DHA sintetizado. Desta forma, os resultados da presente pesquisa, bem como os estudos de Silva et al. (2009) e Çitil et al. (2011), estão de acordo com o de Goyens et al. (2006), em que aumento da quantidade de AAL ingerida afeta seu produto metabólico, DHA.

Silva et al. (2009) ainda salientaram que o aumento no teor de DHA nos ovos, como resultado da adição de semente de linhaça à dieta das codornas, considerando a ausência deste ácido graxo na linhaça, indica que deve haver um eficiente mecanismo de dessaturação e alongamento da cadeia de AAL inicialmente presente na linhaça, como também foi constatado neste estudo, quanto maior o nível de inclusão de óleo de linhaça na ração das codornas maior é a incorporação de DHA nos ovos (Figura 6). Porém, é importante salientar que na presente pesquisa não foi possível mensurar o início da estabilização do teor de DHA nos ovos das codornas alimentadas com até 2% óleo de linhaça, o que sugere a necessidade de estudar maiores níveis de inclusão deste óleo por um período maior que 45 dias (Figura 3).

Apesar da presente pesquisa não ter detectado diferença significativa ($P>0,05$) para o teor de ácido araquidônico (AA) nos ovos com a adição de níveis crescentes de óleo de linhaça na ração das codornas, houve redução nos teores de AL, AA e total n-6 dos ovos de aves alimentadas com ração com maior inclusão deste óleo (Figura 7). Çitil et al. (2011) também observaram que a suplementação de óleo de linhaça em rações para codornas promove redução no conteúdo de AL e AA. Do mesmo modo, Milinsk et al. (2003) não constataram aumento do teor de AA em ovos de galinhas alimentadas com dietas, ricas em n-3, suplementadas com farelo + óleo de canola, de linhaça, de soja e de girassol.

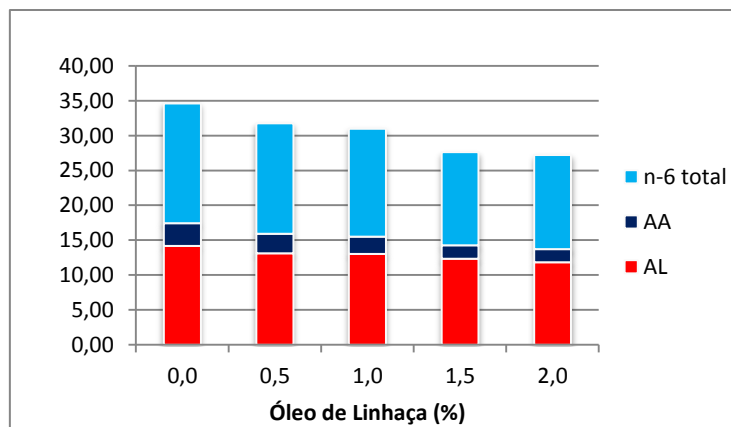


Figura 7. Teor (% do total de ácidos graxos) no 45º dia experimental de ácido linoleico (AL) e seu derivado de cadeia longa, araquidônico (AA), e total n-6 na gema de ovos de codornas alimentadas com rações suplementadas com níveis crescentes de óleo de linhaça.

Silva et al. (2009) e Çitil et al. (2011) verificaram correlação entre n-3 e AA em suas pesquisas, uma vez que foi observada diminuição significativa de AA na gema de ovos de codornas alimentadas com rações contendo semente e óleo de linhaça, respectivamente. Estas diferenças podem ser atribuídas a competição entre as duas famílias de ácidos graxos (n-3 e n-6) pela enzima delta 6 dessaturase envolvida no processo de dessaturação. Esta enzima tem uma grande afinidade pelos ácidos n-3 e necessita de uma menor quantidade destes ácidos dos que da série n-6 para gerar a mesma quantidade de produto (Hussein et al., 2005).

O fato desta pesquisa ter utilizado em quase todas as rações experimentais, o óleo de soja, rico em AL, pode ter contribuído para a não alteração ($P>0,05$) do teor de AA dos ovos, o que manteve desta forma, o aporte mínimo de AL necessário para metabolização de um de seus derivados de cadeia longa, o AA. Contudo, a incorporação de AL foi reduzida de forma linear com a adição de óleo de linhaça, com redução de 0,47% no teor de AL a cada 0,5% de substituição do óleo de soja pelo óleo de linhaça (Figura 4), o que pode ter restringido o processo metabólico de elongação e dessaturação em outros ácidos n-6, entre eles, os ácidos γ -linolênico, dihomo- γ -linolênico, eicosadienoico, docosadienoico e docosapentaenoico, além do AA.

Apesar de ter sido detectado “ponto de sela” para a relação n-6/n-3 das gemas dos ovos, o fornecimento via ração de 1,9% óleo de linhaça por 13 dias para as codornas promoveria razão n-6/n-3 nos ovos de 4,25, sendo esta a mais próxima da indicação de consumo para adequado equilíbrio entre o aporte desses AGPI (Tabela 5). Embora ainda não sejam precisamente estabelecidas as taxas mínimas de consumo de AGPI n-3 e n-6 para atenderem as exigências humanas destes nutrientes, Martin et al. (2006) mostraram

estudos em que houve diminuição de 70% na taxa de mortalidade em pacientes com doença cardiovascular quando a razão n-6/n-3 na dieta foi de 4:1; redução nas inflamações decorrentes da artrite reumatoide quando esta relação da dieta esteve entre 3 a 4:1; diminuição dos sintomas decorrentes da asma quando permaneceu ao redor de 5:1 sendo que em 10:1 os sintomas foram intensificados.

Ao analisar, isoladamente o efeito da inclusão de óleo de linhaça à dieta das codornas sobre os resultados obtidos nesta pesquisa para este parâmetro, detectou-se, respectivamente, relação n-6/n-3 de 12,17; 7,64; 7,15; 6,72 e 4,63 nos ovos produzidos por codornas alimentadas com ração com 2% óleo de soja (0% óleo de linhaça); 0,5% óleo de linhaça + 1,5% óleo de soja; 1,0% óleo de linhaça + 1,0% óleo de soja; 1,5% óleo de linhaça + 0,5% óleo de soja e 2,0% óleo de linhaça (0% óleo de soja), constata-se, portanto, redução na razão n-6/n-3 nos ovos de codorna com a adição de níveis crescentes de óleo de linhaça à ração.

Çitil et al. (2011) também verificaram diminuição na razão n-6/n-3 em ovos de codornas japonesas alimentadas com rações suplementadas com três níveis de óleo de linhaça (1,0; 2,0 e 3,0%) comparadas ao grupo de aves que receberam a ração controle (isento de óleo de linhaça). O fornecimento desta ração provocou relação n-6/n-3 de 20,60; já os demais tratamentos (1,0; 2,0 e 3,0% OL) apresentaram relações de 11,25; 8,25 e 5,74. Isso demonstra que a utilização de óleo de linhaça na alimentação das aves além de promover o enriquecimento dos ovos com n-3, torna-os uma fonte alimentícia alternativa para equilibrar o consumo desses ácidos graxos essenciais.

Através do tipo de análise estatística (regressão múltipla), não foi possível, nesta pesquisa, determinar a melhor combinação tempo de incorporação (0, 3, 6, 9, 12, 15, 21 e 45º dia) e níveis de óleo de linhaça (0; 0,5; 1,0; 1,5 e 2%) para o enriquecimento com ômega 3 de ovos de codornas, contudo deve-se considerar que as equações, mesmo algumas apresentando “ponto de sela”, demonstraram tempo ótimo médio de 20 dias de alimentação das codornas com 2% de óleo de linhaça na ração. Importante ressalva deve ser feita quanto à inclusão de mais de 2% de óleo de linhaça na ração de codornas em postura, uma vez que pode haver prejuízo do desempenho e, ou na qualidade dos ovos, além disso, deve-se considerar a existência de um limite na incorporação de ácidos graxos na gema. Sugere-se, portanto, mais pesquisas com avaliação dos custo/benefício de se alimentar codornas com ração contendo mais óleo de linhaça por um período prolongado.

4. CONCLUSÃO

A inclusão de até 2% óleo de linhaça na ração de codornas japonesas em postura não prejudica o desempenho zootécnico nem tampouco as características físicas de qualidade interna e externa dos ovos, mas intensifica a coloração amarela da gema e ainda promove a incorporação de ômega 3 e reduz a razão n-6/n-3 nos ovos. O tempo médio para estabilização dos ácidos graxos saturados, monoinsaturados e poli-insaturados e suas relações na gema é de 20 dias de alimentação das codornas com rações contendo 2% óleo de linhaça.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AL-DARAJI, H.J., RAZUKI, W.M., AL-HAYANI, W.K., AL-HASSANI, A.S. Effect of dietary linseed on egg quality of laying quail. **International Journal of Poultry Science**, v. 9, n. 6, p. 584-590, 2010.
- BALVANE, D. Essential fatty acid in poultry nutrition. **World's Poultry Science**, v. 26, p. 442-460, 1970.
- BERTECHINI, A.G. Situação atual e perspectivas para a coturnicultura no Brasil. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL, 4, CONGRESSO BRASILEIRO DE COTURNICULTURA, 3., 2010, Lavras. **Anais...** Lavras: UFLA/DZO, 2010. p. 9-14.
- BOURRE, J.-M. Omega-3, animal feeding, nutritional value, and derived products where to find omega-3 fatty acids and how feeding animals with diet enriched in omega-3 fatty acids to increase nutritional value of derived products for human: what is actually useful? **The Journal of Nutrition, Health & Aging**, v. 9, n. 4, p. 232-242, 2005.
- BUTOLO, J.E. **Qualidade de ingredientes na alimentação animal**. Campinas: Agro Comunicação, 2002. 430 p.
- ÇİTİL, O.B.; YILDIRIM, I.; PARLAT, S.S. The effects of dietary flaxseed oil supplementations on fatty acids composition of the yolks in quail (*Coturnix coturnix japonica*) eggs. **Kafkas Universitesi Veteriner Fakultesi Dergisi**, v. 17, n. 5, p. 761-766, 2011. Disponível em: <http://vetdergi.kafkas.edu.tr/extdocs/2011_5/761-766.pdf> Acesso em 12 abr. 2012.
- COSTA, F.G.P.; SOUZA, J.G.; SILVA, J.H.V.; RABELLO, C.B.; GOULART, C.C.; LIMA NETO, R.C. Influência do óleo de linhaça sobre o desempenho e a qualidade dos ovos de poedeiras semipesadas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, n. 5, p. 861-868, 2008.
- FAITARONE, A.B.G. **Fornecimento de fontes lipídicas na dieta de poedeiras e seus efeitos sobre o desempenho, qualidade dos ovos, perfil de ácidos graxos e colesterol na gema**. 2010. 108 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.
- FRAEYE, I.; BRUNEEL, C.; LEMAHIEU, C.; BUYSE, J.; MUYLAERT, K.; FOUBERT, I. Dietary enrichment of eggs with omega-3 fatty acids: A review. **Food Research International**, v. 48, n. 2, p. 961-969, 2012.
- GOYENS, P.L.L.; SPILKER, M.E.; ZOCK, P.L.; KATAN, M.B.; MENSINK, R.P. Conversion of alpha-linolenic acid in humans is influenced by the absolute amounts of alpha-linolenic acid and linoleic acid in the diet and not by their ratio. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 84, n. 1, p. 44-53, 2006.
- HARGIS, P.S.; VAN ELSWYK, M.E.; HARGIS, B.M. Dietary modification of yolk lipid with menhaden oil. **Poultry Science**, v. 70, n. 4, p. 874-883, 1991.

- HARTMAN, L.; LAGO, R.C.A. Rapid preparation of fatty acids methyl esters from lipids. **Laboratory Practice**, London, v. 22, p. 475-476, 1973.
- HUSSEIN, N.; AH-SING, E.; WILKINSON, P.; LEACH, C.; GRIFFIN, B.A.; MILLWARD, D.J. Long-chain conversion of [¹³C] linoleic acid and α -linolenic acid in response to marked changes in their dietary intake in men. **Journal of Lipid Research**, v. 46, n. 2, p. 269-280, 2005.
- JENSEN, L.S.; SHUTZE, J.V. Essential fatty acids deficiency in the laying hen. **Poultry Science**, v. 42, p. 1014-1019, 1963.
- LEESON, S.; SUMMERS, J.D. **Commercial Poultry Nutrition**. Guelph: University Books, 1997. 370 p.
- MARTIN, C.A.; ALMEIDA, V.V.; RUIZ, M.R.; VISENTAINER, J.E.L.; MATSUSHITA, M.; SOUZA, N.E.; VISENTAINER, J.V. Ácidos graxos poliinsaturados ômega-3 e ômega-6: importância e ocorrência em alimentos. **Revista de Nutrição de Campinas**, v. 19, p. 761-770, 2006.
- MILINSK, M.C.; MURAKAMI, A.E.; GOMES, S.T.E.; MATSUSHITA, M.; SOUZA, N.E. Fatty acid profile of egg yolk lipids from hens fed diets rich in n-3 fatty acids. **Food Chemistry**, v. 83, n. 2, p. 287-292, 2003.
- MURAMATSU, K.; STRINGHINI, J.H.; CAFÉ, M.B.; JARDIM FILHO, R.M.; ANDRADE, L.; GODOI, F. Desempenho, qualidade e composição de ácidos graxos do ovo de poedeiras comerciais alimentadas com rações formuladas com milho ou milheto contendo diferentes níveis de óleo vegetal. **Acta Scientiarum**, v. 27, n. 1, p. 43-48, 2005.
- OLIVEIRA, N.T.E.; FONSECA, J.B.; SOARES, R.T.R.N.; FERREIRA, K.S.; THIÉBAUT, J.T.L. Pigmentação de gemas de ovos de codornas japonesas alimentadas com rações contendo colorífico. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 5, p. 1525-1531, 2007.
- PITA, M.C.G. **Fontes marinhas e vegetais de PUFA's na dieta de poedeiras: efeito na composição lipídica da gema do ovo e tempo de incorporação dos ácidos graxos**. 2007. 136 f. Tese (Doutorado em Medicina Veterinária) - Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.
- PITA, M.C.G.; CARVALHO, P.R.; PIBER NETO, E.; MENDONÇA JÚNIOR, C.X. Vegetable and marine sources of supplementaries PUFA's in the diet of laying hens: effect on lipid composition of the plasma and of the egg yolk and time of incorporation of omega 6 PUFA's. **Journal of Applied Sciences Research**, v. 7, n. 5, p. 654-671, 2011.
- PRETOVA, A.; VOJTEKOVA, M. Chlorophylls and carotenoids in flax embryos during embryogenesis. **Photosynthetica**, v. 19, n. 2, p. 194-197, 1985.
- ROLL, A.P.; AZAMBUJA, S.; BAVARESCO, C.; PIRES, P.G.; DIONELLO, N.J.; RUTZ, F. Dinâmica da qualidade de ovos durante a fase inicial reprodutiva de codornas selecionadas por peso corporal. In: ENCONTRO DE PÓS-GRADUAÇÃO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS, 13., 2011, Pelotas. **Anais...** Pelotas: UFPEL, 2011. Disponível em: <http://www.ufpel.edu.br/enpos/2011/anais/pdf/CA/CA_00226.pdf>. Acesso em 20 fev. 2012.
- ROSTAGNO, H.S.; ALBINO, L.F.T.; DONZELE, J.L.; GOMES, P.C.; OLIVEIRA, R.F.M.; LOPES, D.C.; FERREIRA, A.S.; BARRETO, S.L.T. **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Zootecnia, 2011. 252 p.
- SANTOS, M.S.V.; ESPÍNDOLA, G.B.; LÔBO, R.N.B.; FUENTES, M.F.F.; CARVALHO, L.E.; SANTOS, A.B.E. Desempenho e qualidade dos ovos de poedeiras comerciais submetidas às dietas com diferentes óleos vegetais. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 10, n. 3, p. 654-667, 2009.

SCOTT, M.L.; NESHEIM, M.C.; YOUNG, R.J. Proteins and amino acids. In: Scott ML. **Nutrition of the chicken**. 3 ed. Ithaca: M.L. Scott; 1982. p. 58.

SEIBEL, N.F. Transformações bioquímicas durante o processamento do ovo: uma revisão. In: SOUZA-SOARES E SIEWERDT (Orgs). **Aves e Ovos**. Pelotas: Editora Universidade Federal de Pelotas, 2005. p. 77-90.

SILVA, W.A.; ELIAS, A.H.N.; ARICETTI, J.A.; SAKAMOTO, M.I.; MURAKAMI, A.E.; GOMES, S.T.M.; VISENTAINER, J.V.; SOUZA, N.E.; MATSUSHITA, M. Quail egg yolk (*Coturnix coturnix japonica*) enriched with omega-3 fatty acids. **Food Science and Technology**, v. 42, p. 660-663, 2009.

SOUZA, J.G.; COSTA, F.G.P.; QUEIROGA, R.C.R.E.; SILVA, J.H.V.; SCHULER, A.R.P.; GOULART, C.C. Fatty acid profile of eggs of semi-heavy layers fed feeds containing linseed oil. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, v. 10, n. 1, p. 37-44, 2008.

WANG, Y.; SUNWOO, H.; CHERIAN, G.; SIM, J.S. Fatty acid determination in chicken egg yolk: a comparison of different methods. **Poultry Science**, v. 79, p. 1168-1171, 2000.

CAPÍTULO II

Qualidade de ovos de codornas alimentadas com ração contendo óleo de linhaça submetidos à estocagem

RESUMO – Objetivou-se avaliar os efeitos do tempo e da condição de estocagem sobre a qualidade de ovos de codornas alimentadas com rações suplementadas ou não com óleo de linhaça. Foi adotado o delineamento experimental inteiramente casualizado em esquema fatorial 5 x 2 (cinco níveis de óleo de linhaça [0,0; 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0%] e dois tempos de armazenamento (frescos [tempo zero] e estocados por 21 dias) ou duas condições de estocagem por 21 dias (com e sem refrigeração). Não houve interação entre os níveis de óleo de linhaça e tempo de estocagem para nenhum dos parâmetros de qualidade dos ovos. Isoladamente, a estocagem por 21 dias reduziu significativamente o peso específico e aumentou tanto o pH do albúmen quanto o pH da gema. Foi detectada interação entre condição de estocagem e níveis de óleo de linhaça apenas para pH do albúmen. O pH da gema foi alterado exclusivamente pelos níveis de óleo de linhaça e a perda de peso somente pela condição de estocagem, enquanto o peso específico não foi influenciado por nenhuma das fontes de variação. O tempo e a condição de estocagem, principalmente na ausência de refrigeração, promovem piora da qualidade de ovos de codornas alimentadas com rações suplementadas ou não com óleo de linhaça. A utilização de até 2% de óleo de linhaça na ração das codornas não causa alterações indesejáveis na maior parte dos parâmetros de qualidade dos ovos armazenados por 21 dias.

Palavras-chave: Coturnix; perda de peso dos ovos; peso específico dos ovos; pH da gema; pH do albúmen

Egg quality from quails fed diet with linseed oil subjected to storage

ABSTRACT – This study aimed to evaluate the effects of storage time and different storage conditions on egg quality of quails fed diets supplemented with linseed oil. It was adopted a randomized design in a factorial scheme 5 x 2 (five levels of linseed oil [0.0, 0.5, 1.0, 1.5 and 2.0%]) and two storage times (fresh [time zero] and stored for 21 days) or two storage conditions for 21 days (with and without refrigeration). There was no interaction between levels of linseed oil and storage time for any of the parameters of egg quality. The storage for 21 days significantly reduced the specific gravity and increased both albumen pH and yolk pH. The storage conditions have interacted with the levels of linseed oil only for albumen pH. Yolk pH was modified exclusively by levels of linseed oil and the weight loss just by the storage conditions, whereas the specific gravity was not influenced by any of these variation factors. Storage time and storage conditions, particularly without refrigeration, promote worsening of egg quality of quails fed diets supplemented with or without linseed oil. The addition until 2% of linseed oil in the diet of Japanese quails does not cause unwanted changes in most parameters of quality of eggs stored for 21 days.

Keywords: Coturnix; weight loss of eggs; specific gravity of eggs, yolk pH, albumen pH

1. INTRODUÇÃO

O ovo é um alimento de alta qualidade e preço acessível. Tem sido considerado como um alimento funcional, pois segundo Henrique (2002), é rico em proteína de alto valor biológico, lipídios, vitaminas do complexo B, A, E, K, minerais como ferro, fósforo, selênio e zinco, carotenóides como a luteína e zeaxantina, e também fonte importante de colina, um indispensável componente do cérebro.

Ultimamente, as indústrias de aves e de ovos, em particular, têm explorado estratégias nutricionais na formulação das dietas das aves, modificando a composição dos lipídios da gema. A suplementação de fontes ricas em ômega 3, como a semente ou o óleo de linhaça, melhora ainda mais o valor nutritivo dos ovos, tornando-os enriquecidos. Segundo Bourre (2005), ovos são o modelo perfeito de transferência de nutrientes da dieta, uma vez que o tipo de ácido graxo na gema está intimamente relacionado ao tipo de lipídio consumido pela ave.

Entretanto, apesar das vantagens à saúde obtidas pelo consumo de ovos enriquecidos com ácidos graxos poli-insaturados da família ômega 3 (AGPI n-3) para a população em geral, a introdução de novos produtos em dietas para humanos também depende da qualidade como um todo. É sabido que o aumento no grau de insaturação dos lipídios dos ovos pode conduzir a maior susceptibilidade à oxidação, o que aumenta a possibilidade de reduzir os níveis de AGPI n-3 nos ovos, comprometendo tanto seu apelo mercadológico quanto o benefício à saúde. De acordo Hayat et al. (2010), o enriquecimento de ovos com AGPI n-3 promove danos oxidativos nos lipídios da gema e redução global da qualidade dos ovos, o que é agravado pela estocagem.

Em virtude da escassez de relatos a respeito da influência da condição de armazenamento sobre a qualidade de ovos provenientes de aves suplementadas com rações ricas em AGPI n-3, objetivou-se estudar os efeitos do tempo e da condição de estocagem sobre a qualidade de ovos de codornas alimentadas com rações suplementadas ou não com óleo de linhaça.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Aves e dietas

Um plantel de 320 codornas japonesas adultas (110 dias de idade) foi alimentado por 84 dias com rações com substituição do óleo de soja pelo óleo de linhaça em 0, 25, 50, 75 e 100%, perfazendo, respectivamente os níveis de 0,0; 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0% de

óleo de linhaça na ração (Processo nº 33/2012, aprovado pelo Comitê de Ética para Uso de Animais do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal Viçosa, Minas Gerais, Brasil). As necessidades nutricionais basearam-se na média das recomendações para codornas com peso entre 165 a 177 g. A quantidade de nutrientes foi corrigida pela concentração energética da ração. A composição nutricional dos alimentos utilizados nas rações foi de acordo com Rostagno et al. (2011) (Tabela 1).

Tabela 1. Composições percentuais e valores nutricionais das rações experimentais na matéria natural para codornas japonesas em postura

Ingredientes	Óleo de linhaça (%)				
	0	0,5	1,0	1,5	2,0
Milho grão	54,921	54,921	54,921	54,921	54,921
Farelo de Soja (45%)	34,049	34,049	34,049	34,049	34,049
Óleo de soja	2,000	1,500	1,000	0,500	0,000
Óleo de linhaça	0,000	0,500	1,000	1,500	2,000
Calcário calcítico	6,860	6,860	6,860	6,860	6,860
Fosfato bicálcico	1,093	1,093	1,093	1,093	1,093
Sal comum	0,333	0,333	0,333	0,333	0,333
DL- Metionina (99%)	0,341	0,341	0,341	0,341	0,341
L- Lisina HCL (79%)	0,140	0,140	0,140	0,140	0,140
L- Triptofano (99%)	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004
Cloreto de colina (60%)	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100
Suplemento vitamínico ¹	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100
Suplemento mineral ²	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050
Antioxidante ³	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Composição calculada:					
Energia metabolizável (kcal/kg)	2.800	2.800	2.800	2.800	2.800
Proteína bruta (%)	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
Metionina + cistina digestível (%)	0,894	0,894	0,894	0,894	0,894
Lisina digestível (%)	1,090	1,090	1,090	1,090	1,090
Treonina digestível (%)	0,683	0,683	0,683	0,683	0,683
Triptofano digestível (%)	0,229	0,229	0,229	0,229	0,229
Arginina digestível (%)	1,287	1,287	1,287	1,287	1,287
Valina digestível (%)	0,849	0,849	0,849	0,849	0,849
Isoleucina digestível (%)	0,797	0,797	0,797	0,797	0,797
Cálcio (%)	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000
Fósforo disponível (%)	0,310	0,310	0,310	0,310	0,310
Sódio (%)	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150

¹Composição/kg de produto: Vit. A:12.000.000 U.I., Vit D₃:3.600.000 U.I., Vit. E: 3.500 U.I., Vit B₁:2.500 mg, Vit B₂: 8.000 mg, Vit B₆:5.000 mg, Ácido pantotênico: 12.000 mg, Biotina: 200 mg, Vit. K: 3.000 mg, Ácido fólico: 1.500mg, Ácido nicotínico: 40.000 mg, Vit. B₁₂: 20.000 mg, Selênio: 150 mg, Veículo q.s.p.: 1.000g; ² Composição/kg de produto: Mn: 160g, Fe: 100g, Zn: 100g, Cu: 20g, Co: 2g, I: 2g, Veículo q.s.p.: 1000 g; ³ Butil-hidróxi-tolueno, BHT (99%).

2.2. Preparo das amostras para avaliação do efeito do tempo de estocagem sobre a qualidade dos ovos

No 50º e 53º dia de fornecimento das rações experimentais, foram selecionados 24 ovos de cada tratamento (0,0; 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0% de óleo de linhaça), distribuídos aleatoriamente em seis repetições com quatro ovos cada. Para avaliação no tempo zero (sem estocagem) foram utilizados os ovos selecionados no 50º dia experimental.

Os 24 ovos de cada tratamento colhidos do 53º dia foram reservados a avaliação da qualidade aos 21 dias de estocagem em temperatura ambiente ($19,1 \pm 2,2^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa (UR) de 77%).

2.3. Preparo das amostras para avaliação do efeito da condição de armazenamento sobre a qualidade dos ovos

No 53º dia experimental foram colhidos e identificados 48 ovos de cada tratamento distribuídos aleatoriamente em 12 repetições com quatro ovos cada, as quais foram divididas em dois grupos armazenados por 21 dias nas seguintes condições: **Condição 1:** temperatura ambiente ($19,1 \pm 2,2^{\circ}\text{C}$ e UR de 77%); **Condição 2:** refrigeração em geladeira (Consul® 263 litros) ($6,6 \pm 4,4^{\circ}\text{C}$ e UR de 87%).

2.4. Parâmetros avaliados

Para avaliar o efeito do tempo e da condição de estocagem sobre a qualidade dos ovos das codornas alimentadas com rações com níveis crescentes de óleo de linhaça, analisou-se: a perda de peso dos ovos (%), o peso específico dos ovos (g/cm^3), o pH da gema e o pH do albúmen.

A perda de peso durante a estocagem foi determinada pela diferença entre o peso individual de cada ovo no dia em que foi coletado e no final do período de armazenagem sob cada condição, através de balança com precisão de 0,001 g.

O peso específico foi determinado por imersão dos ovos em soluções salinas devidamente calibradas, com densidades que variavam de 1,055 a 1,090 g/cm^3 , com intervalos de 0,005 g/cm^3 , medidas por meio de densímetro (Incoterm® OM-5565).

Imediatamente após a imersão dos ovos nas soluções citadas anteriormente, os ovos foram quebrados, e separou-se manualmente o albúmen e a gema. As quatro gemas e os quatro albumens, correspondentes a cada repetição, foram agrupados sendo realizada a análise do pH por meio de um medidor de pH portátil (Digimed® DM-2P).

2.5. Delineamento experimental e análise estatística

Foi adotado um delineamento experimental inteiramente casualizado em esquema fatorial 5 x 2, sendo cinco níveis de óleo de linhaça na ração (0; 0,5; 1,0; 1,5 e 2%) e dois tempos de armazenamento (frescos [tempo zero] e estocados por 21 dias) ou duas condições de estocagem por 21 dias (com e sem refrigeração).

Os dados obtidos foram submetidos a análises estatísticas através do programa SAS (Statistical Analysis System) software, version 9.2 (2008). Foi realizada análise de variância usando um modelo incluindo os efeitos do tempo ou condição de estocagem, dos níveis de óleo de linhaça na ração e da interação entre esses fatores. Em caso de interação significativa optou-se pelo estudo do efeito do nível de óleo de linhaça dentro de cada tempo de estocagem ou dentro de cada condição de armazenamento por meio de regressão conforme melhor ajuste obtido para cada parâmetro. Na ausência de interação, as médias do efeito do tempo ou da condição de estocagem foram comparadas pelo teste F e como a porcentagem de óleo de linhaça é um fator quantitativo procedeu-se a análise de regressão a fim de obter uma equação que melhor descrevesse o comportamento dos dados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Efeito do tempo de estocagem sobre a qualidade dos ovos

Não houve interação ($P > 0,05$) entre os níveis de óleo de linhaça e o tempo de armazenamento para nenhum dos parâmetros físicos de qualidade dos ovos de codornas, no entanto, isoladamente, a estocagem dos ovos por 21 dias reduziu significativamente ($P < 0,05$) o peso específico e aumentou tanto o pH do albúmen quanto da gema (Tabela 2).

A adição de óleo de linhaça como fonte de ômega 3 na ração das codornas não alterou ($P > 0,05$) os parâmetros de qualidade dos ovos, assim como observado por Cedro et al. (2009) que armazenaram ovos de galinhas convencionais e enriquecidos com ômega 3 por até 21 dias sob temperatura de 5 e 25°C e não detectaram diferenças significativas entre ovos convencionais e enriquecidos com ômega 3 quanto aos parâmetros de qualidade interna (Unidades Haugh, índice de gema, pH do albúmen ou pH da gema). Os autores salientaram que houve interação significativa entre o tempo de armazenamento e a temperatura e, portanto, os seus efeitos foram avaliados, independente do tipo de ovo (convencionais ou enriquecidos).

A redução no peso específico ou gravidade específica pode estar relacionada com a perda de peso durante o armazenamento. De acordo com fórmula para o cálculo da densidade ($d = \text{massa}/\text{volume}$), densidade e massa são grandezas diretamente proporcionais e, dessa forma, quando ocorre decréscimo na massa, simultaneamente, ocorre decréscimo na densidade (Barbosa et al., 2008). Fato registrado neste ensaio, em que independente do nível de óleo de linhaça adicionado à ração das codornas, detectou-se perda de massa dos ovos com a armazenagem o que resultou em menor peso específico dos ovos das codornas.

Tabela 2. Parâmetros de qualidade de ovos, frescos e armazenados por 21 dias em temperatura ambiente ($19,1 \pm 2,2^\circ\text{C}$), de codornas alimentadas com diferentes níveis de óleo de linhaça na ração

Níveis de óleo de linhaça (%)	Perda de peso (%)	Peso específico (g/cm^3)	pH albúmen	pH gema
0,0	2,30	1,064	8,92	5,75
0,5	2,36	1,064	8,89	5,66
1,0	2,17	1,065	8,78	5,65
1,5	2,28	1,065	8,87	5,67
2,0	2,30	1,064	8,86	5,70
P-Valor	0,5172	0,3515	0,1655	0,1868
Tempo de estocagem (dias)				
0	-	1,074	8,54	5,52
21	2,28	1,056*	9,18*	5,85*
P-Valor	-	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Coefficiente de Variação (%)	8,48	0,20	1,57	1,84
P-Valor (interação)	-	0,8350	0,1978	0,2479

*Diferente pelo teste F ($P < 0,05$).

De acordo com Mateos & Beorlegui (1991), em altas temperaturas durante o armazenamento, o ovo transpira, o que intensifica a perda de gás carbônico (CO_2) e água para o meio, tendo como consequência a perda de peso, aumento progressivo da câmara de ar e a redução do peso específico. Este fenômeno se torna mais drástico para ovos armazenados sob temperatura não refrigerada e baixa umidade.

O aumento significativo ($P < 0,05$) do pH do albúmen dos ovos estocados por 21 dias, das codornas alimentadas com ração contendo ou não óleo de linhaça, pode ter sido provocado pela perda de CO_2 como explica Mateos & Beorlegui (1991) que mencionam que os fatores que mais afetam a qualidade do albúmen são as condições e o tempo de armazenamento dos ovos. O CO_2 dissolvido no albúmen durante o processo de formação do ovo, após a oviposição, passa a atmosfera como consequência de um

gradiente negativo de concentração. Essa perda de CO₂ causa aumento do pH e fluidificação do albúmen. A fluidificação, por ser processo bioquímico, é acelerada com o aumento da temperatura. Além disso, com o calor o ovo transpira e perde, ainda mais, CO₂ e água.

Souza & Souza (1995) observaram valores reduzidos para pH da clara de ovos de codorna mantidos na ausência de refrigeração de 9,0 para 8,9 após 21 dias de estocagem. Já Baptista (2002) constatou pequena elevação no valor de pH do albúmen de ovos de codornas armazenados em local sem refrigeração de 9,23 para 9,64, depois de 27 dias de armazenamento.

O maior valor do pH da gema de ovos de codornas estocados por 21 dias em comparação com ovos frescos está diretamente relacionado ao aumento do pH do albúmen. Isso acontece, segundo Shang et al. (2004), em função dos íons alcalinos provenientes do albúmen possivelmente serem trocados com íons H⁺ presentes na gema com elevação do pH da gema.

Esses resultados confirmam os encontrados por Akyurek & Okur (2009) que observaram aumento no pH do albúmen e da gema de ovos de galinhas em função do tempo de armazenamento (0, 3, 7, 10 e 14 dias) e da temperatura de conservação (4 e 20°C). No geral, o pH do albúmen aumentou em ovos de galinhas com 22 e 50 semanas de idade, de 7,95 para 9,22 e de 8,22 para 9,25 em 0 e 14 dias de armazenamento, respectivamente, sendo que a maior parte desse aumento ocorreu durante os três primeiros dias de estocagem.

Jin et al. (2011) também constataram aumentos significativos nos valores de pH do albúmen e no pH da gema de ovos de galinhas com o avançar do tempo de armazenamento sob temperaturas de 5; 21 ou 29°C. Foi verificado aumento rápido na alcalinidade do albúmen, após apenas dois dias de armazenagem, independentemente da temperatura, o pH do albúmen de ovos frescos aumentou de 7,95 para 8,77 após 2 dias de estocagem a 21°C. Após cinco e dez dias de armazenamento sob essa temperatura, o pH do albúmen atingiu, respectivamente, o valor de 9,18 e 9,50. Contudo, os autores destacaram que o aumento do pH da gema não foi tão expressivo como o acréscimo no pH do albúmen. Sob 21°C, os valores de pH da gema foram 5,65; 5,87; 5,92 e 6,09 aos 0, 2, 5 e 10 dias de estocagem, respectivamente.

3.2. Efeito da condição de estocagem sobre a qualidade dos ovos

A interação entre níveis de óleo de linhaça e condição de estocagem influenciou ($P < 0,05$) apenas o pH do albúmen dos ovos de codornas. O pH da gema foi alterado exclusivamente pelos níveis de óleo de linhaça e a perda de peso dos ovos somente pela condição de armazenamento. O peso específico dos ovos de codornas alimentadas com óleo de linhaça não foi influenciado ($P > 0,05$) por nenhuma das fontes de variação estudadas.

Tabela 3. Parâmetros de qualidade de ovos de codornas alimentadas com diferentes níveis de óleo de linhaça na ração estocados por 21 dias sob duas condições

Níveis de óleo de linhaça (%)	Perda de peso (%)	Peso específico (g/cm ³)	pH albúmen	pH gema
0,0	2,19	1,054	9,13	5,95
0,5	2,30	1,056	9,19	5,80
1,0	2,15	1,056	9,06	5,81
1,5	2,13	1,056	9,15	5,79
2,0	2,13	1,056	9,13	5,79
P-Valor	0,1415	0,1673	0,2598	0,0104
Condição de estocagem				
Sem refrigeração	2,28	1,056	9,18	5,85
Com refrigeração	2,07*	1,056	9,09*	5,80
P-Valor	<0,0001	0,9121	0,0100	0,0930
Coefficiente de Variação (%)	8,34	0,22	1,51	2,11
P-Valor (interação)	0,2507	0,4217	0,0318	0,6177

*Diferente pelo teste F.

A perda de peso dos ovos não foi influenciada ($P > 0,05$) pela adição de óleo de linhaça a ração das codornas, no entanto a condição de estocagem foi determinante na redução da perda de peso dos ovos. A armazenagem por 21 dias sob refrigeração promoveu significativamente menor perda de peso dos ovos de codornas ($P < 0,0001$).

Santos et al. (2009) observaram significativa perda de peso de ovos de galinhas estocados durante 21 dias, independente da temperatura (ambiente [27,84°C] ou refrigeração [4,65°C]), comparado aos ovos com sete e 14 dias de armazenamento, fato atribuído pelos autores à redução de água da clara, pois sua proporção diminuiu linearmente em função da estocagem, sendo mais acentuada nos ovos mantidos em temperatura ambiente.

Nota-se, portanto que a perda de peso dos ovos de codornas é inevitável com a estocagem (Tabela 3), mesmo sob refrigeração, uma vez que há perda de umidade e CO₂ através da casca do ovo, porém em menor intensidade comparado a estocagem sem refrigeração.

Garcia et al. (2010) ao confrontarem ovos de galinha frescos com aqueles armazenados à temperatura ambiente, observaram que a perda de peso foi mais rápida quando comparada aos que estavam sob refrigeração. Segundo os autores, esse resultado provavelmente é reflexo da exposição à maior temperatura e menor umidade dos ovos armazenados à temperatura ambiente, o que, possivelmente, potencializou a perda de peso dos ovos ao longo do período de estocagem.

Ao avaliarem a qualidade de ovos de galinhas frescos e armazenados por 2, 5 e 10 dias sob 5, 21 e 29°C, Jin et al. (2011) verificaram que o peso dos ovos não foi significativamente reduzido pelo armazenamento até 10 dias a 5 e 21°C, mas diminuiu expressivamente sob 29°C. No entanto, quando considerada a porcentagem de perda de peso, esta reduziu de forma significativa com o aumento do tempo e da temperatura de armazenagem. Enquanto a perda de peso dos ovos aumentou de 0,28 para 0,55% aos 5 e 10 dias de armazenamento sob 5°C, a estocagem sob 21°C promoveu incremento de 0,67 para 1,18% na perda de peso dos ovos no mesmo período de estocagem (5 e 10 dias).

Embora a redução no peso específico dos ovos estar relacionada à perda de peso dos ovos durante a armazenagem, a condição de armazenamento, nesta pesquisa, não influenciou ($P>0,05$) o peso específico dos ovos das codornas, apesar de ter havido menor perda de peso dos ovos estocados por 21 dias sob refrigeração.

Santos et al. (2009) e Freitas et al. (2011) constataram que o armazenamento dos ovos de galinhas comerciais durante 21 dias, independente da temperatura, ocasionou índice de gravidade específica significativamente menor, quando comparado aos ovos com 7 e 14 dias de armazenamento. A perda de água que ocorre no ovo depois da postura em consequência da evaporação provoca aumento progressivo da câmara de ar e, conseqüentemente, a diminuição da gravidade específica do ovo (Santos et al., 2009).

Segundo Sauveur (1993), a redução da gravidade específica do ovo ocorre de forma linear, estimando-se em torno de 0,0016 unidades por dia, em temperatura ambiente (15 a 22°C). No estudo feito por Santos et al. (2009), a gravidade específica dos ovos de galinhas mantidos em temperatura ambiente (27,84°C), no intervalo de 14 dias, diminuiu 0,0019 unidades/dia. Todavia, quando os autores analisaram os ovos estocados em temperatura de refrigeração (4,65°C), no mesmo intervalo, constataram redução de 0,0018 unidades/dia.

Observa-se, portanto, que somente a refrigeração não é suficiente para conter de forma significativa a redução do peso específico dos ovos com a estocagem, uma vez

que a diminuição deste parâmetro foi ligeiramente menor (0,0001 unidades/dia) em ovos estocados sob refrigeração comparados aos ovos mantidos sob temperatura ambiente, como constatado por Santos et al. (2009). Isso pode explicar o fato desta pesquisa com ovos de codornas não ter apresentado valores de gravidade específica diferentes ($P>0,05$) para ovos de codornas armazenados sob temperatura ambiente e refrigerada (Tabela 3).

O pH do albúmen dos ovos de codornas foi influenciado ($P<0,05$) pela interação entre condição de estocagem e níveis de óleo de linhaça na ração (Tabela 3). Os níveis, máximo e mínimo, de óleo de linhaça adicionado a ração das codornas que promoveram valores de pH do albúmen de ovos estocados sob refrigeração e temperatura ambiente foram bem próximos, 1,21 e 1,23%, respectivamente (Figura 1). Nota-se, portanto, que em um mesmo nível de óleo de linhaça, a manutenção dos ovos sob refrigeração restringe o aumento do pH do albúmen em comparação com a estocagem sem refrigeração, pois com o fornecimento de 1,2% de óleo de linhaça na ração das codornas o pH do albúmen atinge valor máximo na primeira condição, e mínimo para a segunda, demonstrando aumento do pH a partir deste nível de óleo.

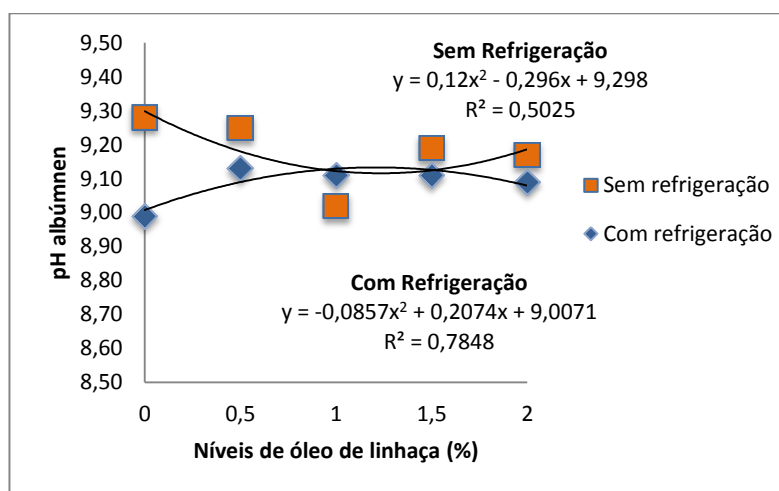


Figura 1. pH do albúmen de ovos, estocados por 21 dias com e sem refrigeração, de codornas alimentadas com rações suplementadas com óleo de linhaça.

Akyurek & Okur (2009) constataram aumento no pH do albúmen e da gema de ovos de galinhas em função do tempo de armazenamento (0, 3, 7, 10 e 14 dias) e da temperatura de conservação (4 e 20°C), sendo que tanto o incremento no pH do albúmen quanto no pH da gema foram mais evidentes a 20°C.

O pH do albúmen no momento da oviposição é cerca de 7,6, ligeiramente mais básico que o fluido uterino, e aumenta para cerca de 9,0 durante o armazenamento na

medida que o CO₂ dissolvido difunde-se para fora (Akyurek & Okur, 2009). Segundo os autores, a capacidade tampão do albúmen é menor entre 7,5 e 8,5, o que explica o rápido aumento de CO₂ que é perdido, acarretando, portanto, maiores valores de pH ao longo do tempo de armazenamento.

Jin et al. (2011) verificaram interação significativa entre o tempo e a temperatura de armazenagem para o pH do albúmen de ovos de galinhas estocados sob 5, 21 e 29°C por 0, 2, 5 e 10 dias. A maior parte do aumento ocorreu durante os primeiros cinco dias de armazenagem. Após esse período sob 5 e 29°C, não houve aumento expressivo do pH do albúmen, porém os ovos estocados a 21°C ainda apresentaram incremento significativo deste parâmetro aos 10 dias de estocagem.

O pH da gema não foi alterado ($P>0,05$) pela condição de estocagem por 21 dias (Tabela 3). Segundo Caner (2005), as gemas têm uma faixa de pH próximo a 6,0, que se mantém relativamente constante durante o armazenamento. Entretanto, os níveis de óleo de linhaça afetaram significativamente ($P=0,0104$) o pH da gema, o qual apresentou menor valor com a utilização de 1,43% de óleo de linhaça na ração das codornas (Figura 2).

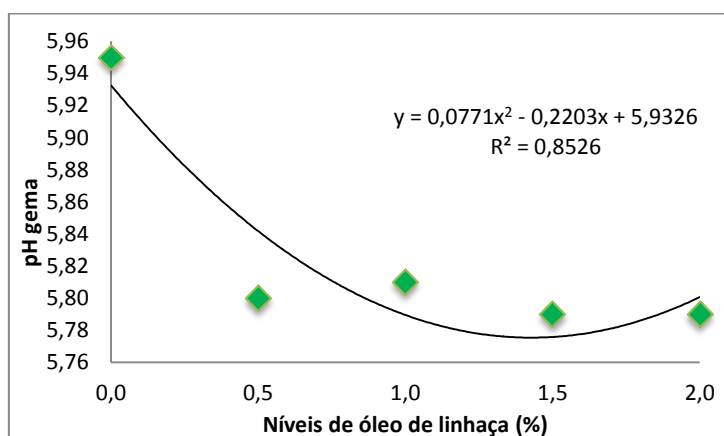


Figura 2. pH da gema de ovos, estocados por 21 dias, de codornas alimentadas com rações suplementadas com óleo de linhaça

Cedro et al. (2009) não verificaram diferença significativa entre as médias de pH da gema dos dois tipos de ovos de galinha estudados (convencional e enriquecido com ω3) armazenados por 21 dias.

Entretanto, Russo et al. (2010) ao fornecerem para galinhas poedeiras rações com 2,5 ou 5% de óleo de soja, de canola ou de linhaça e suas combinações e avaliarem a qualidade interna dos ovos ao longo do armazenamento (0, 7, 14, 21, 28 e 35 dias) sob 24°C, verificaram que em relação ao pH da gema, os ovos provenientes das aves que receberam ração com 2,5% óleo de linhaça + 2,5% óleo de soja apresentaram-se mais

alcalinos quando comparados aos oriundos da alimentação com 2,5% óleo de canola + 2,5% óleo de soja. Os tratamentos 2,5% óleo de linhaça e 2,5% óleo de soja proporcionaram pH da gema semelhantes entre si (6,70 e 6,61, respectivamente), resultado que discorda deste ensaio com ovos de codornas em que aqueles oriundos de aves que receberam ração com óleo de soja (0% óleo de linhaça) apresentaram pH da gema maior, mais alcalino, do que os ovos produzidos por codornas alimentadas com ração contendo 2% óleo de linhaça (5,95 e 5,79, respectivamente).

Foi observada piora na qualidade dos ovos de codornas com o tempo e com a condição de estocagem, independente da adição de óleo de linhaça à ração, no entanto, de forma geral verificou-se que o armazenamento sob refrigeração suscita melhor conservação da qualidade dos ovos.

4. CONCLUSÃO

O tempo e a condição de estocagem, principalmente na ausência de refrigeração, promovem piora da qualidade de ovos de codornas alimentadas com rações suplementadas ou não com óleo de linhaça. A utilização de até 2% de óleo de linhaça na ração de codornas não causa alterações indesejáveis na maior parte dos parâmetros de qualidade dos ovos armazenados por 21 dias.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKYUREK, H.; OKUR, A.A. Effect of storage time, temperature and hen age on egg quality in free-range layers hens. **Journal of Animal and Veterinary Advances**, v. 8, n. 10, p. 1953-1958, 2009.

BAPTISTA, R.F. **Avaliação da qualidade interna de ovos de codorna (*Coturnix coturnix japônica*) em função da variação da temperatura de armazenamento**. 2002. 95 f. Dissertação (Mestrado em Medicina Veterinária) – Universidade Federal Fluminense, 2002.

BARBOSA, N.A.A.; SAKOMURA, N.K.; MENDONÇA, M.O.; FREITAS, E.R. FERNANDES, J.B.K. Qualidade de ovos comerciais provenientes de poedeiras comerciais armazenados sob diferentes tempos e condições de ambientes. **ARS Veterinária**, v. 24, n. 2, 127-133, 2008.

BOURRE, J.-M. Omega-3, animal feeding, nutritional value, and derived products where to find omega-3 fatty acids and how feeding animals with diet enriched in omega-3 fatty acids to increase nutritional value of derived products for human: what is actually useful? **The Journal of Nutrition, Health & Aging**, v. 9, n. 4, p. 232-242, 2005.

CANER, C. The effect of edible eggshell coatings on egg quality and consumer perception. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 85, p. 1897-1902, 2005.

CEDRO, T.M.M.; CALIXTO, L.F.L.; GASPAR, A.; CURVELLO, F.A.; HORA, A.S. Internal quality of conventional and omega-3-enriched commercial eggs stored under different temperatures. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, v. 11, n. 3, p. 181-185, 2009.

- FREITAS, L.W.; ALMEIDA PAZ, I.C.L.; GARCIA, R.G.; CALDARA, F.R.; SENO, L.O.; FELIX, G.A.; LIMA, N.D.S.; FERREIRA, V.M.O.S.; CAVICHIOLO, F. Aspectos qualitativos de ovos comerciais submetidos a diferentes condições de armazenamento. **Revista Agrarian**, v. 4, n. 11, p.66-72, 2011.
- GARCIA, E.R.M.; ORLANDI, C.C.B.; OLIVEIRA, C.A.L.; CRUZ, F.K.; SANTOS, T.M.B.; OTUTUMI, L.K. Qualidade de ovos de poedeiras semipesadas armazenados em diferentes temperaturas e períodos de estocagem. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 11, n. 2, p. 505-518, 2010.
- HAYAT, Z.; CHERIAN, G.; PASHA, T.N.; KHATTAK, F.M.; JABBAR, M.A. Oxidative stability and lipid components of eggs from flax-fed hens: effect of dietary antioxidants and storage. **Poultry Science**, v. 89, n. 6, p. 1285-1292, 2010.
- HENRIQUE, A. Alimentos Funcionais - Parte 2. **Revista Oxidologia**, v. 2, p. 8-13, 2002.
- JIN, Y. H.; LEE, K. T.; LEE, W. I.; HAN, Y. K. Effects of storage temperature and time on the quality of eggs from laying hens at peak production. **Asian-Australasian Journal of Animal Science**, v. 24, n. 2, p. 279-284, 2011.
- MATEOS, G.G.; BEORLEGUI, C.B. **Nutricion y alimentacion de gallinas ponedoras**. Madrid: Mundi-Prensa, 1991. 263p.
- ROSTAGNO, H.S.; ALBINO, L.F.T.; DONZELE, J.L.; GOMES, P.C.; OLIVEIRA, R.F.M.; LOPES, D.C.; FERREIRA, A.S.; BARRETO, S.L.T. **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Zootecnia, 2011. 252 p.
- RUSSO, J.C.; GARCIA, E.A.; FAITARONE, A.B.G.; SILVA, A.P.; MOLINO, A.B. Efeito da adição de óleos vegetais na dieta de poedeiras sobre a qualidade de ovos durante o armazenamento. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNESP, 22., 2010, Marília. p. 1270-1273. **Anais...** Marília: UNESP, 2010. Disponível em: <http://prope.unesp.br/xxii_cic/ver_resumo.php?area=100043&subarea=12114&congresso=30&CPF=36985323871>. Acesso em 10 set. 2013.
- SANTOS, M.S.V.; ESPÍNDOLA, G.B.; LÔBO, R.N.B.; FREITAS, E.R.; GUERRA, J.L.L.; SANTOS, A.B.E. Efeito da temperatura e estocagem em ovos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 29, n. 3, p. 513-517, 2009.
- SAUVEUR, B. **El huevo para consumo: bases productivas**. Tradução por Carlos Buxadé Carbó. Barcelona: Aedos Editorial, 1993. 377 p.
- SHANG, X.G.; WANG, F.L.; LI, D.F.; YIN, D.J.; LI, J.Y. Effects of dietary conjugated linoleic acid on the productivity of laying hens and egg quality during refrigerated storage. **Poultry Science**, v. 83, n. 10, p. 1688-1695, 2004.
- SOUZA, H.B.A.; SOUZA, P.A. Efeito da temperatura de estocagem sobre a qualidade interna de ovos de codorna armazenados durante 21 dias. **Alimentos e Nutrição**, Marília, v. 6, p. 7-13, 1995.

CAPÍTULO III

Perfil de ácidos graxos e grau de oxidação de ovos de codornas alimentadas com ração contendo óleo de linhaça submetidos à estocagem ou ao processamento térmico

RESUMO – Foram realizados dois experimentos com objetivo de avaliar o perfil de ácidos graxos e o grau de oxidação lipídica nas gemas de ovos submetidos ao processamento térmico (Experimento 1) ou diferentes condições de armazenamento (Experimento 2) produzidos por codornas alimentadas com rações com níveis crescentes de óleo de linhaça (0; 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0%) utilizando-se delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 5 (níveis de óleo de linhaça) x 2 (submetidos ou não à cocção úmida – Exp. 1 ou com e sem refrigeração – Exp. 2). O processamento térmico, apesar de ter promovido maior grau oxidação e ter reduzido o teor de monoinsaturados, diminuiu o conteúdo de saturados e aumentou a relação destes com os poli-insaturados, como também incrementou o teor de linolênico, eicosapentaenoico e n-3 total. A condição de armazenamento por 35 dias não influenciou significativamente o perfil de ácidos graxos, contudo, observou-se que a estocagem sob refrigeração promoveu manutenção da relação monoinsaturados:saturados, do conteúdo de poli-insaturados e sua relação com saturados e monoinsaturados, além dos teores de ácidos graxos das séries n-6 e n-3, fato atribuído à estabilidade oxidativa expressivamente maior nos ovos de codorna armazenados sob esta condição.

Palavras-chave: armazenamento; cocção; enriquecimento de ovos; ômega 3; ômega 6

Fatty acid profile and lipid oxidation of eggs from quails fed diet with linseed oil subjected to storage or thermal processing

ABSTRACT - Two experiments were conducted to evaluate the fatty acid profile and lipid oxidation of egg yolks subjected to thermal processing (Experiment 1) or different storage conditions (Experiment 2) from quails fed diets supplemented with levels of linseed oil (0, 0.5, 1.0, 1.5 e 2.0%) using a randomized design in a 5 (levels of linseed oil) x 2 (processed with moist cooking or not – Exp. 1 and with or without refrigeration – Exp. 2) factorial scheme. Heat reduced saturated fatty acid levels and increased the ration with polyunsaturated fatty acid as well as increased linolenic acid, eicosapentaenoic acid and n-3 total despite increased oxidation and reduced monounsaturated fatty acid levels. The storage conditions for 35 days did not significantly affect the fatty acid profile, however, it was observed that the storage under refrigeration preserved the monounsaturated: saturated ratio, the content of polyunsaturated fatty acid levels and the ratios with saturated and monounsaturated, and omega-3 and omega-6 fatty acids levels, which was attributed to greater oxidative stability in quail eggs stored under this condition.

Keywords: storage; cooking; enrichment of eggs; Omega 3; Omega 6

1. INTRODUÇÃO

Estudos nas últimas décadas têm elucidado as importantes funções desempenhadas no organismo humano pelos ácidos graxos poli-insaturados de cadeia longa (AGPI-CL) das famílias ômega 6 (n-6) e ômega 3 (n-3) e as reações envolvidas na sua formação a partir dos ácidos linoléico (C18:2 n-6, AL) e alfa-linolênico (C18:3 n-3, AAL).

Os AGPI das séries n-6 e n-3 são metabolicamente diferentes e possuem funções fisiológicas opostas (pró-inflamatória e anti-inflamatória, respectivamente), deste modo o equilíbrio nutricional é importante a fim de se obter a homeostasia e o desenvolvimento normal do organismo. Um balanço adequado na proporção de n-6/n-3 na dieta é essencial para o metabolismo do organismo humano, podendo levar a prevenção de doenças cardiovasculares e crônicas degenerativas.

Com a adição de semente ou óleo de linhaça em uma ou duas refeições diárias, é possível obter efeitos significativos sobre os níveis séricos de enterolactona e AAL (Tarpila et al., 2002). No entanto, esses produtos não são comumente utilizados em dietas humanas, por isso, segundo Bourre (2005) é interessante enriquecer produtos de origem animal através da suplementação de rações com fontes ricas em ômega 3, como o óleo de canola, de linhaça ou de peixe, tornando, desta forma, a ingestão de n-6/n-3 mais equilibrada na alimentação humana. De acordo com o autor, os ovos são o modelo perfeito de transferência de nutrientes da dieta, uma vez que o tipo de ácido graxo na gema está intimamente relacionado ao tipo de lipídio consumido pela ave.

Entretanto, as vantagens à saúde obtidas pelo consumo de ovos enriquecidos com n-3 podem ser comprometidas pela estocagem ou pelo processamento térmico. Segundo Mazalli & Bragagnolo (2009), os ácidos graxos insaturados são compostos que apresentam baixa estabilidade oxidativa e podem sofrer alterações com o preparo térmico como também com a estocagem com consequente perda do valor nutricional e original, principalmente, radicais livres que aceleram a formação de óxidos de colesterol. Assim, o aumento no grau de insaturação dos lipídios dos ovos, promovido pela adição de AGPI n-3 na dieta das aves, pode conduzir a uma maior susceptibilidade à oxidação, o que aumenta a possibilidade de reduzir os níveis de AGPI n-3 nos ovos, comprometendo, desta forma, tanto seu apelo mercadológico quanto o benefício à saúde.

Objetivou-se avaliar o perfil de ácidos graxos e o grau de oxidação de ovos, submetidos ao processamento térmico ou duas temperaturas de estocagem, de codornas alimentadas com rações suplementadas com níveis crescentes de óleo de linhaça.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Aves e dietas

Um plantel de 320 codornas japonesas adultas (110 dias de idade) foi alimentado por 84 dias com rações com substituição do óleo de soja pelo óleo de linhaça em 0, 25, 50, 75 e 100%, perfazendo, respectivamente os níveis de 0,0; 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0% de óleo de linhaça na ração (Processo nº 33/2012, aprovado pelo Comitê de Ética para Uso de Animais do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal Viçosa, Minas Gerais, Brasil).

As necessidades nutricionais basearam-se na média das recomendações para codornas com peso entre 165 a 177 g. A quantidade de nutrientes foi corrigida pela concentração energética da ração. A composição nutricional dos alimentos utilizados nas rações foi de acordo com Rostagno et al. (2011) (Tabela 1).

2.2. Preparo das amostras para avaliação do efeito do processamento térmico sobre a qualidade dos ovos (Experimento 1)

No 45º dia experimental, foram coletados aleatoriamente 48 ovos íntegros de cada tratamento, distribuídos em quatro repetições com seis ovos cada, sendo 24 ovos mantidos crus, dos quais as gemas foram separadas do albúmen manualmente e homogeneizadas com colher em placa de Petri. Os 24 ovos restantes foram cozidos a $98^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ por dez minutos (contados a partir do início da ebulição da água) e resfriados em água corrente. Em seguida, os ovos foram descascados manualmente, as gemas retiradas e homogeneizadas com garfo em placa de Petri. Todas as amostras de gemas, cruas e cozidas, devidamente identificadas foram liofilizadas e armazenadas em recipientes de alumínio com tampa em freezer a -18°C até a realização das análises.

Tabela 1. Composições percentuais e químicas e valores nutricionais das rações experimentais na matéria natural para codornas japonesas em postura

Ingredientes	Óleo de linhaça (%)				
	0	0,5	1,0	1,5	2,0
Milho grão	54,921	54,921	54,921	54,921	54,921
Farelo de Soja (45%)	34,049	34,049	34,049	34,049	34,049
Óleo de soja	2,000	1,500	1,000	0,500	0,000
Óleo de linhaça	0,000	0,500	1,000	1,500	2,000
Calcário calcítico	6,860	6,860	6,860	6,860	6,860
Fosfato bicálcico	1,093	1,093	1,093	1,093	1,093
Sal comum	0,333	0,333	0,333	0,333	0,333
DL- Metionina (99%)	0,341	0,341	0,341	0,341	0,341
L- Lisina HCL (79%)	0,140	0,140	0,140	0,140	0,140
L- Triptofano (99%)	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004
Cloreto de colina (60%)	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100
Suplemento vitamínico ¹	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100
Suplemento mineral ²	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050
Antioxidante ³	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Composição calculada:					
Energia metabolizável (kcal/kg)	2.800	2.800	2.800	2.800	2.800
Proteína bruta (%)	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
Metionina + cistina digestível (%)	0,894	0,894	0,894	0,894	0,894
Lisina digestível (%)	1,090	1,090	1,090	1,090	1,090
Treonina digestível (%)	0,683	0,683	0,683	0,683	0,683
Triptofano digestível (%)	0,229	0,229	0,229	0,229	0,229
Arginina digestível (%)	1,287	1,287	1,287	1,287	1,287
Valina digestível (%)	0,849	0,849	0,849	0,849	0,849
Isoleucina digestível (%)	0,797	0,797	0,797	0,797	0,797
Cálcio (%)	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000
Fósforo disponível (%)	0,310	0,310	0,310	0,310	0,310
Sódio (%)	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150
Composição analisada (%)⁴					
Palmítico (C16:0)	33,99	32,15	31,67	31,11	13,93
Estearico (C18:0)	5,69	5,74	5,95	6,51	2,09
Oléico (C18:1)	12,67	12,13	11,76	13,15	24,25
Ácido Linoléico (C18:2 n-6)	30,67	31,29	30,43	30,75	27,27
Ácido Linolênico (C18:3 n-3)	2,88	3,70	4,66	5,54	11,29
Relação n-6/n-3	10,65	8,46	6,53	5,55	4,19

¹Composição/kg de produto: Vit. A:12.000.000 U.I., Vit D₃:3.600.000 U.I., Vit. E: 3.500 U.I., Vit B₁:2.500 mg, Vit B₂: 8.000 mg, Vit B₆:5.000 mg, Ácido pantotênico: 12.000 mg, Biotina: 200 mg, Vit. K: 3.000 mg, Ácido fólico: 1.500mg, Ácido nicotínico: 40.000 mg, Vit. B₁₂: 20.000 mg, Selênio: 150 mg, Veículo q.s.p.: 1.000g; ²Composição/kg de produto: Mn: 160g, Fe: 100g, Zn: 100g, Cu: 20g, Co: 2g, I: 2g, Veículo q.s.p.: 1000 g; ³Butil-hidróxi-tolueno, BHT (99%).⁴Cromatografia gasosa (Hartman & Lago, 1973)

2.3. Preparo das amostras para avaliação do efeito da condição de armazenamento sobre a qualidade dos ovos (Experimento 2)

No 51º dia experimental, 48 ovos de cada tratamento foram coletados e identificados. Os ovos foram distribuídos aleatoriamente em 12 repetições com quatro ovos cada, as quais foram divididas em dois grupos armazenados por 35 dias nas seguintes condições: **Condição 1:** temperatura ambiente ($18,8 \pm 2,0^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa (UR) de 73,5%); **Condição 2:** refrigeração em geladeira (Consul® 263 litros) ($6,6 \pm 4,1^{\circ}\text{C}$ e UR de 87%).

Ao final do período de armazenamento, as gemas foram separadas do albúmen manualmente e homogeneizadas com colher em placa de Petri, em seguida as amostras foram devidamente identificadas, liofilizadas e armazenadas em recipientes de alumínio com tampa em freezer a -18°C até a realização das análises.

2.4. Análises laboratoriais

Para avaliar o efeito da cocção e da estocagem sobre a qualidade dos ovos analisou-se nas gemas: o perfil de ácidos graxos e a estabilidade oxidativa (valor de TBARS).

A determinação do perfil dos ácidos graxos nas gemas foi realizada por cromatografia gasosa utilizando-se o método de metilação direta de acordo com Wang et al. (2000). Foram pesados aproximadamente 50 mg de gema liofilizada em um tubo de esterificação. Foi acrescentado 2,0 mg/mL do padrão interno (ácido nonadecanóico, C19:0) em hexano, 1 mL de metanol e 3 mL de HCl metanólico 3N. Os tubos foram fechados e apertados firmemente e levados ao banho-maria a 95°C por uma hora. Após resfriarem a temperatura ambiente, adicionou-se 8 mL de solução de NaCl 0,88% e 3 mL de hexano, em seguida, o conteúdo foi misturado em agitador de tubos. Os tubos foram mantidos em repouso até a separação das fases. Recolheu-se a camada superior que foi transferida para um vidro âmbar devidamente identificado. As amostras foram mantidas em freezer para posterior injeção no cromatógrafo gasoso.

Os metil ésteres dos ácidos graxos foram identificados por comparação com os tempos de retenção do padrão. O conteúdo dos ácidos graxos das gemas dos ovos de codorna foi expresso em porcentagem.

Foram adotadas as seguintes condições cromatográficas: coluna capilar de sílica fundida, Carbowax 100M (100 m x 0,25 mm d.i), através do detector ionização de chama com a seguinte programação: temperatura inicial de 140°C mantida por 5

minutos, aumento da temperatura até 240°C à razão de 4°C por minuto e mantida por 20 minutos utilizando-se o gás de arraste mistura de oxigênio:nitrogênio (2:2) + hidrogênio+ nitrogênio, com um fluxo de 1 mL/min, e a temperatura do injetor de 240°C e do detector de 260°C.

A curva padrão e o preparo das amostras para determinação da estabilidade oxidativa foram realizados utilizando-se o método de extração ácido aquosa, conforme descrito por Kang et al. (2001).

Para a construção da curva foi preparada uma solução 0,0001 M do padrão 1,1,3,3-tetrametoxipropano (TMP) em ácido perclórico 3,86%. Dessa solução retiraram-se alíquotas que foram transferidas para balões volumétricos de 10 mL sendo, em seguida, o volume completado com ácido perclórico 3,86%.

De cada balão, 2 mL foram transferidos para tubos de ensaio com tampa. Posteriormente adicionou-se 2 mL da solução aquosa 20 mM de ácido 2-tiobarbitúrico (TBA), os tubos foram fechados, agitados e aquecidos em banho-maria (Hemoquímica[®], modelo HM 1003) fervente por 30 minutos. Após o resfriamento até temperatura ambiente, foi lida a densidade ótica em espectrofotômetro a 531 nm. Com as leituras de absorbâncias obtidas, foi então traçada uma curva de calibração para o cálculo dos níveis de substâncias que reagem ao TBA (TBARS) nas amostras.

O preparo da amostra e a determinação da oxidação lipídica foram conduzidos da seguinte forma: em um tubo de ensaio médio, foram pesados aproximadamente 2 g de gema liofilizada, foi feita a adição de 18 mL de ácido perclórico 3,86%, e em seguida o tubo com este conteúdo foi levado em um agitador tipo Vórtex por 15 segundos a alta velocidade. O homogeneizado foi filtrado em papel de filtro Whatman nº1. Posteriormente, 2 mL do filtrado foram colocados em tubos de ensaio pequenos, por duplicata, acrescidos de 2 mL de solução aquosa 20 mM de TBA. Os tubos foram fechados, agitados e aquecidos em banho-maria fervente por 30 minutos. Após o resfriamento até temperatura ambiente, a densidade ótica foi lida em espectrofotômetro a 531 nm. A quantidade de TBARS da amostra foi expressa em mg de malonaldeído por kg de gema. Foram submetidos ao mesmo procedimento adotados com as amostras, dois tubos denominados de “branco” que foram utilizados para calibrar (zerar) o aparelho na absorbância determinada, cada um contava com 2 mL de ácido perclórico 3,86% mais 2 mL de solução aquosa 0,02 M de TBA.

2.5. Delineamento experimental e análises estatística

Para ambos os experimentos adotou-se um delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 5 x 2, sendo cinco níveis de óleo de linhaça na ração (0; 0,5; 1,0; 1,5 e 2%) e ovos submetidos ou não ao processamento térmico (crus e cozidos – Experimento 1) ou duas condições de estocagem (com e sem refrigeração – Experimento 2).

Os dados obtidos foram submetidos a análises estatísticas através do programa SAS (Statistical Analysis System) software, version 9.2 (2008). Foi realizada uma análise de variância e na ocorrência de interação significativa entre condição de armazenamento ou processamento térmico com os níveis de óleo de linhaça na alimentação das aves, optou-se pelo estudo dos níveis de óleo de linhaça dentro de cada condição de armazenamento ou dentro da presença ou ausência de processamento térmico do ovo. Na ausência de interação, as médias de efeito da condição de estocagem ou processamento térmico foram comparadas pelo teste F e como o nível de óleo de linhaça é uma variável contínua procedeu-se a análise de regressão, obtendo-se curva que melhor descrevesse o comportamento dos dados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Efeito do processamento térmico sobre a qualidade dos ovos

A maioria dos ácidos graxos (AG) dos ovos não foi influenciada pela interação entre o processamento térmico e os níveis de óleo de linhaça na ração das codornas. De forma geral, a cocção em ebulição alterou o teor da maioria dos ácidos graxos. Já os níveis de óleo de linhaça afetaram ($P < 0,05$), isoladamente, o teor de ácido linoléico (AL), linolênico (AAL) e relação n-6/n-3 (Tabela 2).

O tratamento térmico afetou de forma significativa o teor de monoinsaturados (MONO), relação poli-insaturados:monoinsaturados (POLI:MONO), ácido eicosapentaenoico (EPA) e n-3 total em ovos de codornas alimentadas com 2% óleo de linhaça na ração (Tabela 3). Os níveis de óleo de linhaça afetaram de forma quadrática o teor desses AG. Ovos de codornas cozidos apresentaram valor máximo de MONO ao nível de 0,77% óleo de linhaça, e valores mínimos de POLI:MONO com adição de 0,74%, de EPA com 0,59% e n-3 total com 0,56%. No entanto, com exceção para o EPA, o conteúdo de MONO, POLI:MONO e n-3 total em ovos crus aumentou linearmente com a suplementação de óleo de linhaça à dieta das codornas (Figura 1).

A cada aumento 0,5% de óleo de linhaça na ração das codornas há redução, nos ovos, de 0,98% no teor de AL, 2,68 unidades na relação n-6/n-3 e aumento de 0,94% no conteúdo de AAL (Figura 2).

Diferente do observado neste estudo com ovos de codornas, em que o processamento térmico reduziu o teor de SAT e MONO, porém não afetou ($P>0,05$) o conteúdo de POLI, Mazalli & Bragagnolo (2009) ao avaliarem ovos de galinha enriquecidos com n-3 crus e submetidos ao cozimento e a fritura, não observaram efeito do processamento térmico sobre o teor de SAT, no entanto a concentração de MONO e POLI foi reduzida. Nahtigal et al. (2000) descreveram perda significativa de SAT, MONO e POLI em ovos de galinha tanto cozidos como fritos.

Estudos na literatura sobre os efeitos do processamento térmico na composição de ovos enriquecidos com AGPI n-3 e n-6 são muito limitados (Botsoglou et al., 2012), o que dificulta a discussão dos resultados. Os autores observaram que ovos cozidos de galinhas alimentadas com 4% óleo de linhaça tiveram o conteúdo de SAT e MONO aumentado enquanto menor teor de POLI, entretanto quando as aves receberam 4% de óleo de girassol só foi detectado maior valor de MONO enquanto que a quantidade dos demais, SAT e POLI, não foram afetadas pelo cozimento.

No presente estudo, o processamento térmico dos ovos de codornas aumentou as relações POLI:SAT e POLI:MONO e os teores de AAL, EPA e n-3 total nas gemas (Tabela 2). Apesar de todas as amostras de ovos terem sido liofilizadas, o tratamento térmico dos ovos seguido da liofilização promoveu maior conteúdo de sólidos totais (de 60% em ovos crus para 62% em ovos cozidos), fato que pode ter contribuído para o aumento no teor dos AG. Ferreira et al. (2007) salientaram que o cozimento aumenta a matéria seca, resultado da perda de água, o que promove aumento na concentração dos demais constituintes do alimento.

Tabela 2. Perfil de ácidos graxos saturados (SAT), monoinsaturados (MONO), poli-insaturados (POLI), linoléico (AL, C18:2 n-6), araquidônico (AA, C20:4 n-6), linolênico (AAL, C18:3 n-3), eicosapentaenoico (EPA, C20:5 n-3), docosahexaenoico (DHA, C22:6 n-3), total n-6, n-3 total e suas relações em gema de ovos, submetidos ou não ao processamento térmico, de codornas alimentadas com níveis crescentes de óleo de linhaça na ração

Níveis de óleo de linhaça (%)	Total de ácidos graxos (%) e suas relações													
	SAT	MONO	POLI	MONO/SAT	POLI/SAT	POLI/MONO	AL	AA	AAL	EPA	DHA	n-6	n-3	n-6/n-3
0,0	38,17	38,81	20,83	1,02	0,57	0,55	14,40	3,81	0,08	0,00	0,67	19,18	1,65	14,54
0,5	37,40	40,76	19,78	1,09	0,54	0,49	13,17	3,30	0,47	0,00	1,41	17,90	1,88	6,91
1,0	37,88	40,45	19,81	1,07	0,53	0,50	12,75	3,18	1,30	0,47	1,64	16,41	3,40	3,81
1,5	37,40	40,72	19,25	1,09	0,53	0,48	12,63	1,81	2,25	0,00	1,27	15,73	3,52	4,60
2,0	33,79	34,83	25,20	1,02	0,81	0,83	9,77	1,87	3,89	3,45	2,26	15,60	9,60	2,28
P-Valor	0,1768	0,0605	0,1233	0,2193	0,0714	0,0190	0,0030	0,0730	0,0027	0,0047	0,4922	0,2471	<0,0001	<0,0001
Processamento térmico														
Cru	38,49	40,63	19,47	1,06	0,51	0,48	12,91	3,04	1,19	0,13	1,37	16,78	2,69	6,88
Cozido	35,34*	37,59*	22,48	1,06	0,68*	0,66*	12,18	2,55	2,10*	1,44*	1,53	17,14	5,34*	5,98
P-Valor	0,0151	0,0400	0,0610	0,9766	0,0233	0,0181	0,2852	0,3526	0,0358	0,0429	0,7621	0,7562	0,0020	0,5325
Coefficiente de Variação (%)	10,47	11,47	23,31	7,88	37,02	38,87	17,01	59,20	94,41	250,54	120,34	21,43	61,56	70,41
P-Valor (interação)	0,1827	0,0202	0,1511	0,1164	0,0827	0,0164	0,1802	0,5884	0,2406	0,0302	0,8454	0,9849	0,0009	0,9459

*Diferente pelo teste F (P<0,05).

nd, não detectado.

n = 48; análises em quadruplicatas.

Saturados (16:0; 18:0); Monoinsaturados (16:1; 18:1); Poli-insaturados (18:2; 18:3 n-6; 20:2; 20:3; 20:4; 22:2; 18:3 n-3; 20:5; 22:6; 22:5); Total n-6 (18:2; 18:3; 20:2; 20:3; 20:4; 22:2); N-3 total (18:3; 20:5; 22:6; 22:5).

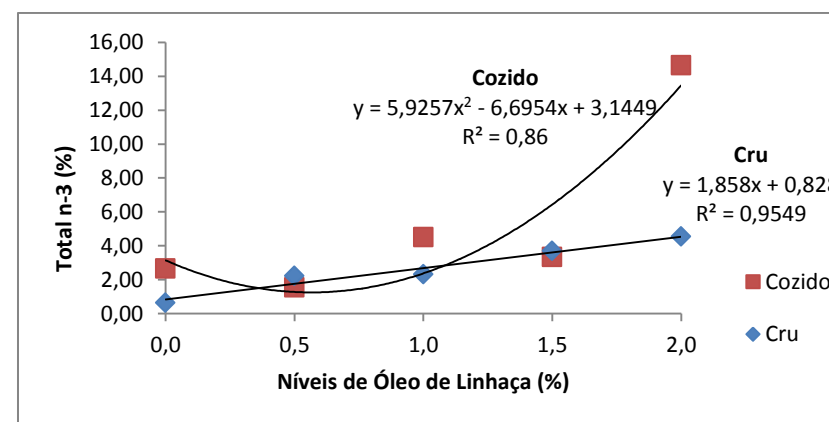
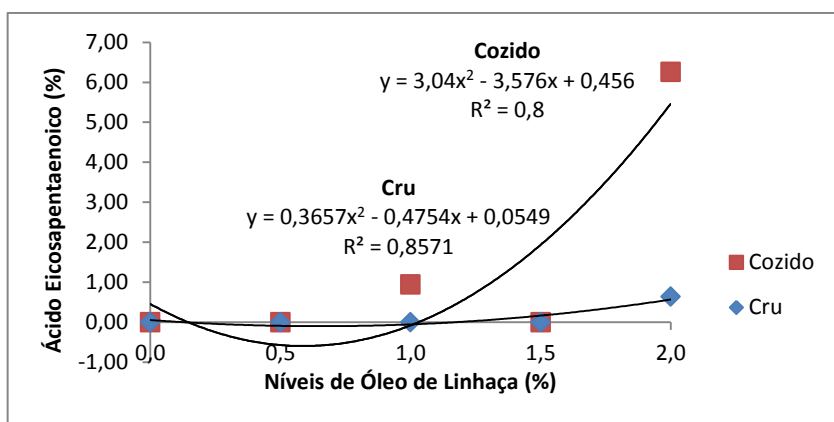
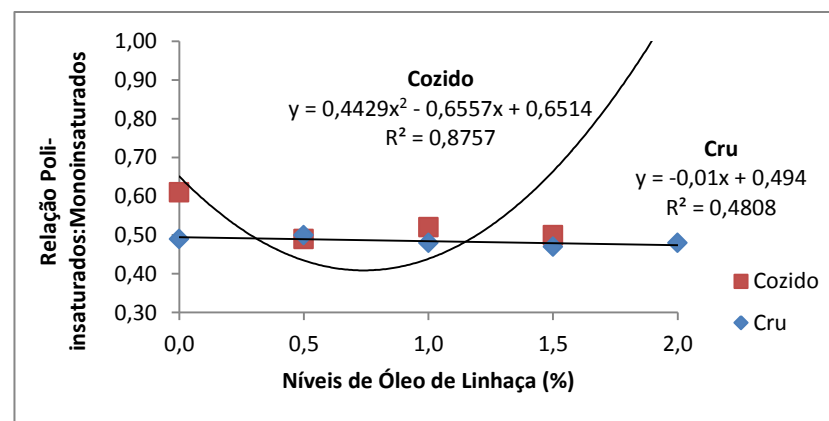
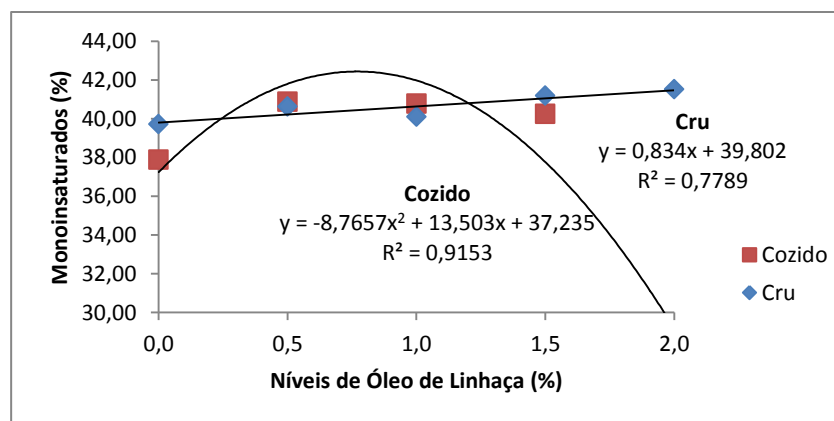


Figura 1. Conteúdo de ácidos graxos monoinsaturados, relação poli-insaturados:saturados, ácido eicosapentaenoico e n-3 total (% total de ácidos graxos) na gema de ovos, crus e cozidos, de codornas alimentadas com rações suplementadas com níveis crescentes de óleo de linhaça.

Tabela 3. Média e P-Valor para a comparação do teor de ácidos graxos monoinsaturados, relação poli-insaturados:monoinsaturados, ácido eicosapentaenoico e n-3 total de ovos crus e cozidos dentro de cada nível de óleo de linhaça na ração das codornas

Processamento térmico	Níveis de Óleo de Linhaça (%)				
	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0
Monoinsaturados (%)					
Cru	39,72	40,64	40,10	41,19	41,53
Cozido	37,89	40,88	40,79	40,26	28,13*
P-Valor	0,5679	0,9407	0,8282	0,7717	0,0002
Relação Poli-insaturados:Monoinsaturados					
Cru	0,49	0,50	0,48	0,47	0,48
Cozido	0,61	0,49	0,52	0,50	1,18*
P-Valor	0,4579	0,9603	0,8209	0,8511	0,0001
Ácido Eicosapentaenoico (%)					
Cru	0,00	0,00	0,00	0,00	0,64
Cozido	0,00	0,00	0,94	0,00	6,26*
P-Valor	1,0000	1,0000	0,5024	1,0000	0,0003
N-3 total (%)					
Cru	0,64	2,23	2,31	3,70	4,55
Cozido	2,66	1,54	4,50	3,34	14,65*
P-Valor	0,2553	0,6948	0,2200	0,8356	<0,0001

*Diferente pelo teste F (P<0,05).

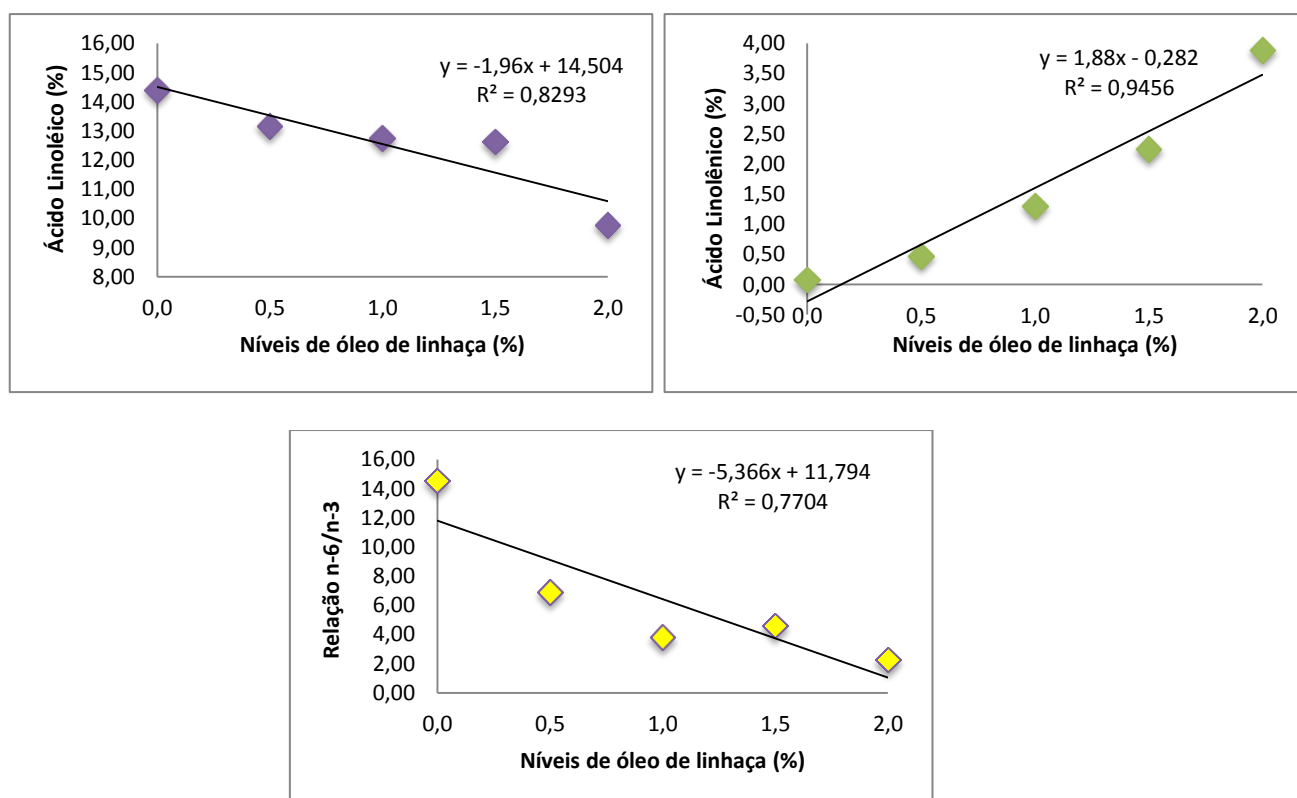


Figura 2. Conteúdo de ácido linoléico, ácido linolênico e relação n-6/n-3 (% total de ácidos graxos) na gema de ovos, crus e cozidos, de codornas alimentadas com rações suplementadas com níveis crescentes de óleo de linhaça.

A suplementação com óleo de linhaça à dieta das codornas não promoveu significativamente ($P < 0,05$) alterações nos teores de SAT, MONO e POLI, no entanto ao comparar ovos oriundos da alimentação de codornas com ração exclusivamente composta por óleo de soja (0% óleo de linhaça) com aqueles provenientes do tratamento com 2% óleo de linhaça detecta-se conteúdo menor de SAT (-4,38%) e de MONO (-3,98%) e maior de POLI (4,37%). Consequentemente, as relações POLI:SAT e POLI:MONO foram maiores. É importante ressaltar que o teor de MONO em ovos de codornas crus apresentou aumento linear com a adição de níveis crescentes de óleo de linhaça à ração das codornas (Figura 1), sendo que a cada aumento de 0,5% óleo de linhaça houve incremento de 0,42% no teor de MONO nas gemas. Este fato é atribuído à alta composição em MONO e POLI e baixo conteúdo de SAT da dieta composta por esse óleo (Tabela 1) que alterou diretamente o perfil lipídico dos ovos. Pita et al. (2011) também constataram maior redução de SAT em gemas de ovos de galinhas poedeiras alimentadas com rações contendo OL, o que consequentemente influenciou a quantidade dos AG insaturados, o que é desejável, do ponto de vista nutricional, a ingestão destes em substituição aos SAT.

Çitil et al. (2011) ao alimentarem codornas japonesas com rações sem suplementação de óleo de linhaça e 1, 2 e 3% de óleo de linhaça na ração constataram redução no teor de SAT e sua relação com POLI (SAT:POLI) nos ovos. Os autores verificaram maior incorporação de n-3 nos ovos oriundos de codornas alimentadas com óleo de linhaça, sendo significativamente maiores os teores de AAL e seus derivados de cadeia longa, EPA e DHA, enquanto as quantidades de AL e AA reduziram promovendo maiores relação n-3/n-6 nos ovos.

A utilização de rações para codornas suplementadas exclusivamente com óleo de soja não causou incorporação relevante de AAL e consequentemente nem de EPA e DHA nos ovos, entretanto o fornecimento de rações com inclusão de 2% óleo de linhaça para codornas promove enriquecimento dos ovos com n-3, principalmente de EPA e DHA, isso demonstra que a grande quantidade de AAL presente no óleo de linhaça, tornou-se um bom precursor dos AGPI n-3 de cadeia longa que foram incorporados aos ovos (Tabela 2).

Silva et al. (2009) demonstraram que codornas japonesas alimentadas com rações com 1,5; 3,0 e 5,0% de semente de linhaça produziram ovos com maior conteúdo de n-3 total na gema (1,51; 2,36 e 3,07%, respectivamente) em comparação as que receberam a dieta controle (0% de semente de linhaça; 0,71%). Entretanto, o aumento

de n-3 total foi atribuído pelos autores aos maiores teores de AAL, DHA e DPA (22:5 n-3, ácido docosapentaenoico) nos ovos produzidos por codornas que receberam semente de linhaça, o teor de AAL passou de 0,25% nos ovos das aves alimentadas com a dieta controle para 1,93% nos ovos provenientes de codornas alimentadas com 5% semente de linhaça, o de DHA de 0,37 para 0,93% e o de DPA de 0,08 para 0,20%. Os autores salientaram que o aumento no teor de DHA nos ovos, como resultado da adição de semente de linhaça à dieta das codornas, considerando a ausência deste ácido graxo na linhaça, indica que deve haver um eficiente mecanismo de dessaturação e alongamento da cadeia de AAL inicialmente presente na linhaça.

Menores teores de AL, ácido araquidônico (AA) e total n-6 foram observados em ovos de codornas alimentadas com rações suplementadas com 2% óleo de linhaça, apesar de ter sido detectada diferença significativa apenas para o primeiro ($P < 0,05$). No entanto, a adição de 2% óleo de linhaça à dieta das codornas promoveu incorporação na gema 5,8 vezes maior de n-3 total em comparação ao fornecimento de 0; 0,5; 1,0 e 1,5% óleo de linhaça, demonstrado pelo maior teor de AAL, EPA e DHA, apesar do conteúdo de DHA não ter apresentado aumento significativo ($P > 0,05$), além da detecção de menor relação n-6/n-3.

Faitarone (2010) observou que o óleo de linhaça promoveu maior percentual de incorporação de ácidos graxos n-3 nas gemas dos ovos de galinha, sendo que a suplementação com 5% do óleo na dieta das aves promoveu incremento 35 vezes maior de n-3 nas gemas em relação ao conteúdo de n-3 em gemas dos ovos provenientes de poedeiras que não foram suplementadas com qualquer tipo de óleo na dieta; já a suplementação com 2,5% do óleo de linhaça na dieta das aves promoveu incorporação 20 vezes maior de n-3.

Çitil et al. (2011) ao alimentarem codornas japonesas com 0; 1,0; 2,0 e 3,0% óleo de linhaça notaram redução significativa nos teores de AL, AA e total de n-6 dos ovos, sendo consideravelmente menor o conteúdo destes com a inclusão de 3,0%, em contrapartida, com o acréscimo de óleo de linhaça detectaram aumento nos teores de AAL, EPA e DHA dos ovos, semelhante ao observado na presente pesquisa. Do mesmo modo, Milinsk et al. (2003) não constataram aumento do teor de AA em ovos de galinhas alimentadas com dietas, ricas em n-3, suplementadas com farelo + óleo de canola, de linhaça, de soja e de girassol.

Silva et al. (2009) e Çitil et al. (2011) verificaram correlação entre n-3 e AA em suas pesquisas, uma vez que foi observada diminuição significativa de AA na gema de

ovos de codornas alimentadas com semente e óleo de linhaça, respectivamente. Estas diferenças podem ser atribuídas a competição entre as duas famílias de ácidos graxos (n-3 e n-6) pela enzima delta 6 dessaturase envolvida no processo de dessaturação. Esta enzima tem uma grande afinidade pelos ácidos n-3 e necessita de uma menor quantidade destes ácidos dos que da série n-6 para gerar a mesma quantidade de produto (Hussein et al., 2005).

O fato desta pesquisa ter utilizado em quase todas as rações o óleo de soja, rico em AL, pode ter contribuído para a não alteração do teor de AA dos ovos, o que manteve desta forma, o aporte mínimo de AL necessário para metabolização de um de seus derivados de cadeia longa, o AA. Contudo, a incorporação de AL foi reduzida de forma linear com a adição de óleo de linhaça, com redução de 0,98% no teor de AL a cada 0,5% de substituição do óleo de soja pelo óleo de linhaça (Figura 2), o que pode ter restringido o processo metabólico de elongação e dessaturação em outros ácidos n-6, entre eles, os ácidos γ -linolênico, dihomog γ -linolênico, eicosadienoico, docosadienoico e docosapentaenoico, além do AA.

De acordo com pesquisas, Martin et al. (2006), sugerem que consumo de n-6/n-3 deve ser no máximo 4:1. A ingestão de AG essenciais desencadeia uma série de reações químicas mediadas por enzimas desaturases e elongases no organismo animal. Estes lipídios são convertidos em outros ácidos de cadeia longa, como o AA, EPA e DHA. Nestas reações há competição entre estas enzimas, de modo que a ingestão em excesso de AGPI n-6 limita a formação dos n-3 no organismo animal e vice-versa.

A adição de óleo de linhaça à ração das codornas reduziu linearmente a razão n-6/n-3 nos ovos (Tabela 2 e Figura 2), como destacado por Faitarone (2010) em que a suplementação com óleo de linhaça (2,5 ou 5%) na dieta de galinhas promoveu decréscimo acentuado na relação n-6/n-3 da gema, fato atribuído à alta concentração de AGPI n-3 do óleo de linhaça e que foi incorporada aos ovos. Pita et al. (2011) também detectaram menor razão n-6/n-3 (1,55) em ovos de galinhas alimentadas com 3% óleo de linhaça em comparação com óleo de milho, de salmão, de sardinha + atum, de soja e de canola (16,93; 3,11; 2,45; 10,36 e 6,48), apesar da relação n-6/n-3 dos ovos do tratamento com óleo de linhaça, óleo de salmão e de sardinha + atum terem apresentado valores estatisticamente semelhantes entre si.

Não foi detectada interação significativa entre o processamento térmico dos ovos e os níveis de óleo de linhaça na ração das codornas para estabilidade oxidativa da gema (valor de TBARS), no entanto ambos os fatores, tratamento térmico e níveis de óleo de

linhaça, influenciaram ($P < 0,05$) isoladamente este parâmetro. O cozimento aumentou o grau de oxidação das gemas enquanto a adição de 0,8% óleo de linhaça promoveu valor máximo de TBARS (Tabela 4 e Figura 3).

Tabela 4. Valor de TBARS (substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico em mg/kg gema) de ovos, submetidos ou não ao processamento térmico, de codornas alimentadas com diferentes níveis de óleo de linhaça na ração

Níveis de óleo de linhaça (%)	Valor TBARS (mg/kg gema)
0,0	1,09
0,5	1,19
1,0	1,27
1,5	1,01
2,0	1,06
P-Valor	0,0534
Processamento térmico	
Cru	0,84
Cozido	1,20*
P-Valor	<0,0001
Coefficiente de Variação (%)	12,11
P-Valor (interação)	0,3189

*Diferente pelo teste F ($P < 0,05$).

n= 10, análise em duplicata (ovos crus); n = 40, análise em oito replicatas (ovos cozidos).

O aumento de 43% no conteúdo de TBARS verificado em ovos de codornas cozidos não foi tão exacerbado como o observado por Pita et al. (2008) que detectaram valores de 570,6 e 109,6 x 10⁻⁶ mg de malonaldeído (MDA)/kg de gema em ovos de galinhas alimentadas com semente de linhaça e óleo de canola, cozidos e crus, respectivamente, aumento, portanto de 421% nos ovos submetidos ao cozimento.

Apesar desse incremento no conteúdo de TBARS dos ovos de codornas submetidos ao cozimento, o grau médio de oxidação determinado nas gemas cozidas de 1,13 mg MDA/kg gema (Tabela 4) foi bem abaixo do limite de consumo de 7 a 8 mg MDA/kg indicado por Cadun et al. (2005).

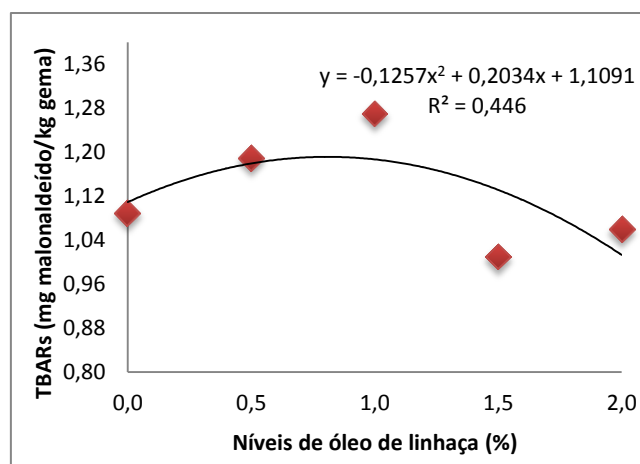


Figura 3. Conteúdo de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico em mg/kg gema (TBARS) de ovos, submetidos ou não ao processamento térmico, de codornas alimentadas com diferentes níveis de óleo de linhaça na ração.

A inclusão de óleo de linhaça promoveu menor estabilidade oxidativa nos ovos das codornas. Segundo Gómez et al. (2003), os ácidos graxos poli-insaturados, pelo fato de possuírem várias duplas ligações, tornam-se muito suscetíveis à oxidação. Os autores verificaram valores mais elevados TBARS para os ovos provenientes de galinhas alimentadas com dietas contendo 5% óleo de linhaça, quando comparados com tratamento sem suplementação, sugerindo que o maior número de insaturações do AAL presente no óleo de linhaça seria responsável pelo maior grau de oxidação das gemas.

O alto valor de TBARS em gemas de ovos de galinhas alimentadas com 2,4% óleo de soja pode ser devido à incorporação de POLI em ovos de aves alimentadas com essa dieta em comparação com a inclusão de 5% farinha de carne e ossos + 1,34% óleo de soja, 5% farinha de carne e ossos + 1,68% sebo bovino ou 9% semente de girassol (Pereira et al., 2011). Ácidos graxos poli-insaturados são mais propensos à oxidação do que os saturados (Pappas et al., 2005). Cherian et al. (2007) também observaram maior oxidação lipídica em ovos provenientes de galinhas alimentadas com rações contendo AL conjugado e óleo de peixe.

A estabilidade oxidativa de ovos frescos foi influenciada significativamente pela dieta das galinhas. A inclusão na ração de galinhas de 15% de farelo de *Camelina sativa*, oleaginosa rica em n-3 (29,6% de AAL), promoveu conteúdo expressivamente maior de TBARS em relação à inclusão de 0; 5 ou 10%, o que sugere que o incremento da oxidação lipídica foi pronunciada nestes ovos devido ao alto conteúdo de AGPI n-3 (Cherian et al., 2009).

O processamento térmico de ovos de codornas alimentadas com níveis crescentes de óleo de linhaça na ração, apesar de ter promovido maior valor de TBARS e redução de MONO, diminuiu o conteúdo de SAT e aumentou as relações POLI:SAT e POLI:MONO, como também de AAL, EPA e n-3 total.

3.2. Efeito da condição de armazenamento sobre a qualidade dos ovos

Não houve interação entre os níveis de óleo de linhaça e as condições de armazenamento para o perfil de AG dos ovos de codornas (Tabela 5). Isoladamente, a inclusão de óleo de linhaça à ração das codornas promoveu alterações ($P < 0,05$) no teor de AL, AAL, EPA, n-3 total e na relação n-6/n-3. De forma geral, a suplementação com óleo de linhaça modificou de forma linear o conteúdo desses AG, sendo que o teor de AL e a relação n-6/n-3 foram reduzidos e os demais aumentados (Figura 4).

Ao contrário do observado neste estudo, em que o conteúdo de SAT, MONO e POLI de ovos de codornas alimentadas com níveis crescentes de óleo de linhaça não foram alterados pela condição de armazenamento, Mazalli & Bragagnolo (2009) encontraram redução no teor de MONO e POLI em ovos de galinha enriquecidos com ômega 3 estocados sob 25 e 5°C por 45 dias, sendo que a concentração de SAT permaneceu inalterada.

Similar ao observado neste estudo com ovos de codorna, Hayat et al. (2010) observaram que o teor de AAL de ovos de galinhas não foi alterado pelo tempo de estocagem sob refrigeração, com exceção para o grupo que recebeu 10% semente de linhaça (SL) + 150 mg de antioxidante (butil-hidroxitolueno, BHT), o qual apresentou maior conteúdo aos 20 e 40 dias comparado com 0 e 60 dias de armazenamento. O teor de DHA nos ovos de galinha alimentadas com rações controle e com SL + antioxidante se manteve estável durante o armazenamento. No entanto, a redução de 13 e 17% no DHA dos ovos mostrou que a suplementação de menor quantidade de antioxidantes (50 mg BHT ou 50 UI alfa-tocoferol [α -TOC]) às rações com SL foi ineficaz para a preservação do DHA. Exceto para o tratamento com 10% SL + 150 UI α -TOC, em que aos 20 dias de estocagem apresentou redução no teor de AL dos ovos, não houve efeito do armazenamento sobre o teor deste ácido graxo.

Concordando com os resultados obtidos por Mazalli & Bragagnolo (2009), que relataram que o armazenamento, a 5°C por 45 dias, reduziu a concentração de POLI de ovos enriquecidos com n-3 através da alimentação de galinhas com óleo de linhaça, Botsoglou et al. (2012) constataram que a estocagem por 60 dias a 4°C não alterou o

teor de SAT, porém diminuiu a proporção de POLI e a de MONO em gemas de ovos de galinhas alimentadas com 4% óleo de girassol ou 4% óleo de linhaça. Mais especificamente, o total de n-6, especialmente o AL, diminuiu em ambos os grupos de ovos, enquanto que o total de n-3, principalmente o AAL, diminuiu apenas em ovos de galinhas alimentadas com OL.

O fato destes resultados serem contraditórios ao observados neste estudo com ovos de codornas, em que nenhum dos AG foram alterados pela condição de estocagem, pode ser devido ao menor tempo de estocagem avaliado neste estudo (35 dias) em relação aos maiores períodos (45 e 60 dias) analisados nestas pesquisas com ovos de galinhas, além disso, no presente experimento procedeu-se comparação entre duas condições de estocagem, sem e com refrigeração, enquanto nas pesquisas supracitadas foram adotadas comparações entre ovos frescos e estocados por determinado período apenas sob refrigeração. Outro fator que pode ter contribuído para esses resultados conflitantes foi a condição de estocagem sob ausência de refrigeração que não ultrapassou a 25°C (vide Material e Métodos – Condição 1: $18,8 \pm 2,0^{\circ}\text{C}$), não provocando portanto alterações nos teores de AG dos ovos armazenados sob esta condição.

Barbosa (2010) ao estocar ovos de galinhas enriquecidos com ômega 3 e avaliar o percentual n-3 total aos 4, 11, 18, 25, 32 e 39 dias em ambiente sem e com refrigeração, notou grande oscilação do teor de n-3 ao longo do experimento, não havendo uma homogeneidade dos resultados, o que o levou a concluir que o tempo de armazenamento influenciou o comportamento dos AGPI n-3 (AAL e DHA) nos ovos de galinha enriquecidos, porém de maneira não uniforme, sendo que ao final da pesquisa em ambas as temperaturas de armazenamento, os AG n-3 ainda estavam presentes.

Tabela 5. Perfil de ácidos graxos saturados (SAT), monoinsaturados (MONO), poli-insaturados (POLI), linoléico (AL, C18:2 n-6), araquidônico (AA, C20:4 n-6), linolênico (AAL, C18:3 n-3), eicosapentaenoico (EPA, C20:5 n-3), docosahexaenoico (DHA, C22:6 n-3), total n-6, n-3 total e suas relações em gema de ovos, armazenados sob duas condições por 35 dias, de codornas alimentadas com níveis crescentes de óleo de linhaça na ração

Níveis de óleo de linhaça (%)	Total de ácidos graxos (%) e suas relações													
	SAT	MONO	POLI	MONO/SAT	POLI/SAT	POLI/MONO	AL	AA	AAL	EPA	DHA	n-6	n-3	n-6/n-3
0,0	38,88	38,12	20,85	0,98	0,54	0,55	15,11	3,52	0,22	0,11	0,58	19,93	0,91	12,32
0,5	37,70	36,27	23,09	0,97	0,62	0,64	16,01	3,14	0,98	0,00	1,07	21,03	2,05	7,53
1,0	37,43	36,95	22,86	0,99	0,62	0,62	14,25	2,54	1,37	0,75	1,47	19,31	3,62	5,02
1,5	36,36	37,53	23,15	1,03	0,66	0,64	13,27	2,27	2,59	1,22	1,11	18,23	4,92	4,18
2,0	35,27	37,36	23,82	1,05	0,68	0,64	13,27	2,00	2,64	1,88	1,17	18,14	5,68	3,42
P-Valor	0,1380	0,4787	0,6020	0,0747	0,3869	0,3995	0,0008	0,0724	<0,0001	0,0188	0,1695	0,2769	<0,0001	<0,0001
Condição de armazenamento														
Sem refrigeração	37,38	37,72	22,13	1,01	0,61	0,60	14,00	2,72	1,64	0,72	1,09	18,68	3,45	6,72
Com refrigeração	36,87	36,79	23,35	1,00	0,65	0,64	14,76	2,70	1,48	0,85	1,06	19,96	3,39	6,34
P-Valor	0,5743	0,2179	0,3214	0,2430	0,3856	0,3057	0,0979	0,6426	0,5751	0,7444	0,8754	0,1831	0,8888	0,7740
Coefficiente de Variação (%)	9,47	16,64	20,61	14,25	32,69	183,04	12,07	59,82	69,13	190,70	78,49	18,95	51,95	67,22
P-Valor (interação)	0,9255	0,6328	0,5357	0,5197	0,6017	0,5487	0,1987	0,9547	0,8648	0,3247	0,7273	0,8176	0,2882	0,1443

n = 48; análises em seis replicatas.

Saturados (16:0; 18:0); Monoinsaturados (16:1; 18:1); Poli-insaturados (18:2; 18:3 n-6; 20:2; 20:3; 20:4; 22:2; 18:3 n-3; 20:5; 22:6; 22:5); Total n-6 (18:2; 18:3; 20:2; 20:3; 20:4; 22:2); N-3 total (18:3; 20:5; 22:6; 22:5).

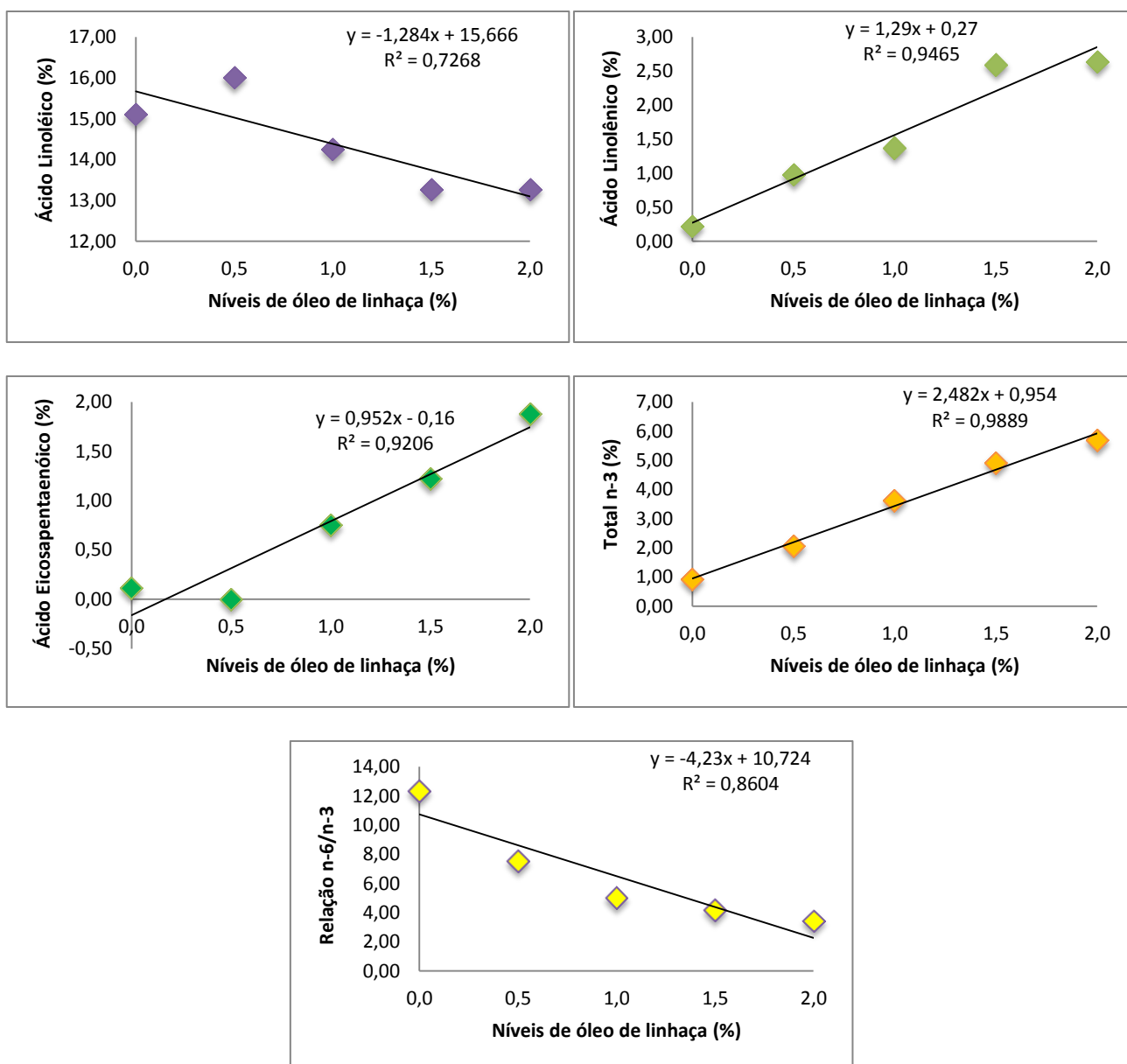


Figura 4. Conteúdo dos ácidos linoléico, linolênico, eicosapentaenóico, n-3 total e relação n-6/n-3 (% total de ácidos graxos) na gema de ovos, armazenados por 35 dias, de codornas alimentadas com rações suplementadas com níveis crescentes de óleo de linhaça.

A suplementação de óleo de linhaça na ração das codornas promoveu incremento nos teores de AAL, EPA e DHA dos ovos, apesar deste último não ter sido significativo ($P > 0,05$). Este fato é explicado pelo aumento no conteúdo de AAL nas rações com maiores inclusões de óleo de linhaça (Tabela 1), indicando, portanto que o AAL proveniente do óleo de linhaça tornou-se um bom precursor dos AG de cadeia longa da série n-3 incorporados aos ovos.

Apesar de não ter demonstrado alteração significativa ($P = 0,0724$), o menor teor de AA (derivado de cadeia longa do AL) encontrado em ovos de codornas alimentadas com 2% óleo de linhaça pode ser explicado pelo aumento expressivo do conteúdo do

AAL e consequentemente de seus derivados de cadeia longa, EPA e DHA, nos ovos das aves que receberam esta porcentagem de óleo na ração. Ao fornecerem para galinhas poedeiras rações suplementadas com 3% óleo de milho, de salmão, de sardinha + atum, de soja, de canola ou de linhaça, Pita et al. (2011) também verificaram menor conteúdo de AA no ovos do tratamento com óleo de linhaça, sendo semelhante aos ovos produzidos pela adição dos dois tipos de óleos de peixes. Martin et al. (2006) mostraram que um excesso de ácidos n-6 na dieta pode inibir o metabolismo do AAL, embora em geral, os da série n-3 são mais eficientes em inibir o metabolismo dos n-6 do que vice-versa. Isto é devido a uma preferência das enzimas desaturases ($\Delta 5$ e $\Delta 6$) pela série n-3.

Ao analisar o efeito da suplementação de óleo de linhaça à dieta das codornas sobre a relação n-6/n-3 dos ovos detectou-se redução linear para este parâmetro, sendo que a cada aumento de 0,5% de óleo de linhaça há diminuição de 2,12 unidades na razão n-6/n-3.

Observou-se que a partir da adição de 1,5% óleo de linhaça é possível atingir relação n-6/n-3 nos ovos mais ajustada a indicação de consumo humano (3 a 4:1) em comparação com o não fornecimento de óleo de linhaça (0%) e suplementação de 0,5 ou 1,0% (12,32; 7,53 e 5,02). Apesar de ainda não terem sido precisamente estabelecidas as taxas mínimas do consumo de AGPI n-3 e n-6 para atenderem as exigências humanas destes nutrientes, Martin et al. (2006) mostraram estudos em que houve diminuição de 70% na taxa de mortalidade em pacientes com doença cardiovascular, quando a razão n-6/n-3 na dieta foi de 4:1; redução nas inflamações decorrentes da artrite reumatoide, quando esta relação da dieta esteve entre 3 a 4:1; diminuição dos sintomas decorrentes da asma, quando permaneceu ao redor de 5:1 sendo que em 10:1 os sintomas foram intensificados.

Çitil et al. (2011) também verificaram diminuição na razão n-6/n-3 em ovos de codornas japonesas alimentadas com três níveis de óleo de linhaça (1,0; 2,0 e 3,0%) comparadas ao grupo de aves que receberam a dieta controle (isento de óleo de linhaça). O fornecimento desta dieta provocou relação n-6/n-3 de 20,60; já os demais tratamentos (1,0; 2,0 e 3,0% OL) apresentaram relações de 11,25; 8,25 e 5,74. Isso demonstra que a utilização de óleo de linhaça na alimentação das aves além de promover o enriquecimento dos ovos com n-3, torna-os uma fonte alimentícia alternativa para equilibrar o consumo desses ácidos graxos essenciais.

Ovos de codornas estocados na ausência de refrigeração, apesar da temperatura não ter ultrapassado 25°C (vide Material e Métodos – Condição 1: $18,8 \pm 2,0^\circ\text{C}$),

apresentaram aumento de 23% no valor de TBARS, indicando perda da qualidade dos ovos pela maior formação de radicais livres que induzem à peroxidação lipídica e a consequente produção de MDA. Já o armazenamento por 35 dias, sob refrigeração, promoveu significativamente menor formação de MDA (TBARS), indicando melhor manutenção da qualidade dos ovos mantidos sob esta condição (Tabela 6).

Tabela 6. Valor de TBARS (substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico em mg/kg gema) de ovos, submetidos a diferentes condições de estocagem por 35 dias, de codornas alimentadas com níveis crescente de óleo de linhaça na ração

Níveis de óleo de linhaça (%)	Valor TBARS (mg/kg gema)
0,0	1,22
0,5	1,28
1,0	1,12
1,5	1,33
2,0	1,34
P-Valor	0,0222
Condição de armazenamento	
Sem refrigeração	1,42
Com refrigeração	1,09*
P-Valor	<0,0001
Coefficiente de Variação (%)	20,93
P-Valor (interação)	0,2519

*Diferente pelo teste F ($P < 0,05$).

n= 120, análise em 12 replicatas.

Durante o armazenamento, os ovos sofrem várias reações enzimáticas, entre as quais, a oxidação lipídica se apresenta como um dos principais fatores que contribuem para a perda da qualidade. Tal perda ocorre com maior velocidade quando o ovo é armazenado em condições inadequadas de temperatura e umidade. Ovos de galinhas armazenados por 0, 7, 14 e 21 dias sem refrigeração (25°C) exibiram aumento progressivo do grau de oxidação lipídica da gema até os 14 dias de armazenamento. Ovos frescos apresentaram TBARS de 0,1343 mg de MDA/kg de gema, ao serem armazenados durante 7 dias, os valores elevaram-se para 0,1698 e, aos 14 dias de estocagem para 0,2138. Conclui-se que o armazenamento de ovos de galinha na ausência de refrigeração é ineficaz para preservar a qualidade interna dos ovos (Giampietro et al., 2008).

Hayat et al. (2010) verificaram que o armazenamento após 60 dias a 4°C não afetou o valor de TBARS de ovos de galinhas, porém a dieta influenciou significativamente, sendo que o maior conteúdo de TBARS (0,29 mg MDA/g) durante o

armazenamento foi encontrado no tratamento com semente de linhaça sem suplementação de antioxidantes e o menor valor detectado no tratamento controle (0,08 mg MDA/g). O tipo e o nível de antioxidante tiveram efeito mínimo sobre o conteúdo de TBARS dos ovos.

O grau de oxidação dos ovos de codorna foi modificado ($P < 0,05$) pelos níveis de óleo de linhaça adicionados à ração (Tabela 6 e Figura 5), o maior valor de TBARS (1,34 mg/kg de gema) detectado em ovos de codornas alimentadas com 2% óleo de linhaça é explicado pelo conteúdo expressivamente ($P < 0,05$) maior de AGPI n-3 (n-3 total, AAL e EPA -Tabela 5 e Figura 4) nos ovos deste tratamento.

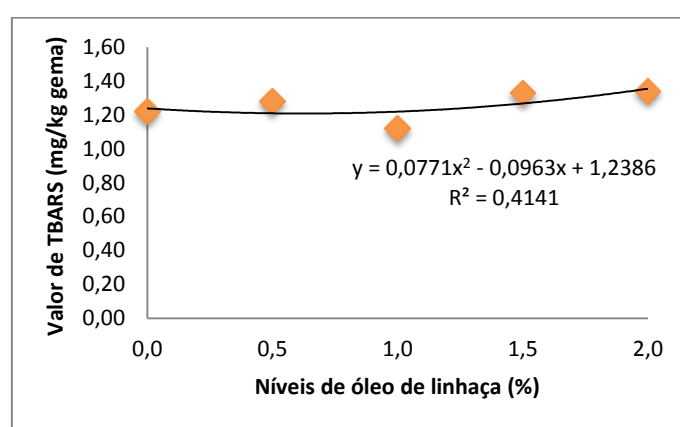


Figura 5. Conteúdo de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico em mg/kg gema (TBARS) de ovos, submetidos a estocagem por 35 dias com e sem refrigeração, de codornas alimentadas com diferentes níveis de óleo de linhaça na ração.

Faitarone (2010) observou que após dez dias de armazenamento sem refrigeração, ovos oriundos de galinhas alimentadas com ração sem suplementação de óleo ou com adição de 2,5% óleo de soja registraram menor TBARS (0,17 e 0,15 mg MDA/kg gema) quando comparado com ovos provenientes das alimentações com 5% óleo de linhaça (0,30 mg/kg) e com 2,5% de óleo de canola+ 2,5% óleo de soja (0,29 mg/kg), este não diferindo, significativamente, dos demais tratamentos. Da mesma forma, neste ensaio com ovos de codornas, o valor de TBARS dos ovos das aves alimentadas com 2% de óleo de linhaça foi 9,84% superior em relação aos ovos oriundos de codornas que receberam ração com suplementação exclusiva de óleo de soja (0% óleo de linhaça), revelando, portanto, que a peroxidação lipídica ocorreu pela presença da maior quantidade de AGPI n-3, principalmente de AAL e seus derivados de cadeia longa, EPA e DHA, nas gemas dos ovos de codornas alimentadas com a ração constituída exclusivamente de óleo de linhaça (2%).

O conteúdo de TBARS é um importante índice de qualidade, pois indica a extensão da oxidação lipídica. De acordo com Cadun et al. (2005), os alimentos podem ser considerados de excelente qualidade quando apresentam valores abaixo de 3 mg de MDA/kg, já em materiais em bom estado não deve ser superior a 5. Sendo assim, os resultados deste estudo demonstram que os ovos de codornas, mesmo quando armazenados durante 35 dias na ausência de refrigeração, estão adequados para o consumo, considerando os valores médios de TBARS de 1,26 mg MDA/kg de gema.

A condição de armazenamento por 35 dias não influenciou o perfil de AG de ovos de codorna alimentadas com níveis crescentes de óleo de linhaça na ração, contudo, apesar da não significância estatística ($P>0,05$), observou-se que a estocagem sob refrigeração promoveu manutenção da relação MONO:SAT, do conteúdo de POLI e suas relações com MONO e SAT, e dos teores de AL, AA, EPA, DHA, n-6 total e n-3 total, fato atribuído à estabilidade oxidativa expressivamente maior ($P<0,0001$) mensurada pela menor formação de MDA (TBARS) em ovos de codorna armazenados sob esta condição.

Dentre os níveis de óleo de linhaça utilizados na alimentação das codornas, avaliados nesta pesquisa, a inclusão de 2% promoveu maior enriquecimento dos ovos com ômega 3, especialmente com AAL, e este por ser um bom precursor de EPA e DHA, também foram incorporados aos ovos.

De acordo com a Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) Nº 54/2012, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), que regulamenta sobre os critérios utilizados nos rótulos de alimentos que possuem alegações de propriedade funcional e, ou de saúde, os ovos de codornas produzidos nesta pesquisa oriundos da alimentação das codornas com rações suplementadas com óleo de linhaça, independente do nível (0,5; 1,0; 1,5 ou 2%) podem ser considerados fonte de ácidos graxos ômega 3, pois contém no mínimo 40 mg da soma de EPA e DHA por porção (Tabela 7).

Além disso, considerando o documento da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) e da Organização Mundial da Saúde (WHO) publicado em 2010, que recomenda para adultos, homens e mulheres, exceto grávidas ou lactantes, 250 mg/dia de EPA + DHA, é possível sugerir, a partir deste estudo, o consumo diário de ovos de codornas alimentadas com ração suplementada com 2% óleo de linhaça, sendo indicado uma porção (5 unidades) de ovos cozidos, ou caso os ovos sejam submetidos ao armazenamento por 35 dias, a recomendação é aumentar a

ingestão para 1,5 porções de ovos ao dia, visto que com a estocagem há perda desses ácidos graxos (Tabela 7).

Tabela 7. Comparação dos valores médios de EPA + DHA (mg) nos ovos de codornas alimentadas com rações suplementadas com níveis crescentes de óleo de linhaça, as necessidades diárias (mg) e a porcentagem dos requerimentos obtida com a ingestão de uma porção diária de ovos de codorna

	Níveis de óleo de linhaça suplementados na ração das codornas (%)				
	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0
EPA + DHA no ovo de codorna cozido (mg)	7,30	15,35	22,98	13,83	62,18
EPA + DHA no ovo de codorna armazenado por 35 dias (mg)	7,51	11,65	24,18	25,37	33,21
EPA + DHA (mg) em 1 porção (5 ovos de codornas)*	36,50 /	76,75 /	114,90 /	69,15 /	310,90 /
Cozido/Armazenado	37,55	58,25	120,90	126,85	166,05
Necessidades diárias (mg)**	250	250	250	250	250
% das necessidades obtida com a ingestão de 1 porção	14,6 /	30,7 /	46,0 /	27,7 /	124,4 /
Cozido/Armazenado	15,0	23,3	48,4	50,7	66,4

Considerou para efeito de cálculo o peso médio da gema obtido neste experimento de 3,63 g e a porcentagem de 30% de lipídeos (dado baseado na literatura), portanto 1 gema de ovo de codorna = 1089 mg de lipídeos.

*Brasil. Resolução RDC Nº 359, de 23 de dezembro de 2003. A Diretoria Colegiada da ANVISA/MS aprova o regulamento técnico de porções de alimentos embalados para fins de rotulagem nutricional. Diário Oficial da União. 2003 26 dez; (251):28; Seção 1.

**FAO (2010).

4. CONCLUSÃO

O processamento térmico, através da cocção em ebulição, de ovos de codornas alimentadas com níveis crescentes de óleo de linhaça, apesar de ter reduzido a estabilidade oxidativa e o teor de ácidos graxos monoinsaturados, diminuiu o conteúdo de ácidos graxos saturados e incrementou a relação poli-insaturados:saturados e de poli-insaturados:monoinsaturados, além disso, promoveu maiores teores de ácido linolênico e eicosapentaenoico e n-3 total.

A estocagem por 35 dias, com ou sem refrigeração, de ovos de codornas que receberam rações suplementadas com níveis crescentes de óleo de linhaça não promoveu alterações no perfil de ácidos graxos, entretanto maior estabilidade oxidativa foi alcançada com o armazenamento sob refrigeração.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARBOSA, V.C. **Ovos enriquecidos com ômega-3: influência do tempo e da temperatura de estocagem sobre o teor de carotenóides e ácidos graxos**. 2010. 61 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2010.

BOTSOGLOU, E.; GOVARIS, A.; PEXARA, A.; FLETOURIS, D. Effect of processing and storage on the fatty acid composition of n-3 or n-6 fatty acid-enriched eggs. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 47, p. 2388–2396, 2012.

BOURRE, J.-M. Omega-3, animal feeding, nutritional value, and derived products where to find omega-3 fatty acids and how feeding animals with diet enriched in omega-3 fatty acids to increase nutritional value of derived products for human: what is actually useful? **The Journal of Nutrition, Health & Aging**, v. 9, n. 4, p. 232-242, 2005.

BRASIL. ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 54/2012, de 12 de novembro de 2012 – Dispõe sobre o Regulamento Técnico sobre Informação Nutricional Complementar. Disponível em: <http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/630a98804d7065b981f1e1c116238c3b/Resolucao+RDC+n.+54_2012.pdf?MOD=AJPERES> Acesso em: 16 abr. 2013.

CADUN, A.; CAKLI, S.; KISLA, D. A study of marination of deepwater pink shrimp (*Parapenaeus longirostris*, Lucas, 1846) and its shelf life. **Food Chemistry**, v.90, p.53-59, 2005.

CHERIAN, G.; CAMPBELL, A.; PARKER, T. Egg quality and lipid composition of eggs from hens fed *Camelina sativa*. **The Journal of Applied Poultry Research**, v. 18, n. 2, p. 143-150, 2009.

CHERIAN, G.; TRABER, M.G.; GOEGER, M.P.; LEONARD, S.W. Conjugated linoleic acid and fish oil in laying hen diets: effects on egg fatty acids, thiobarbituric acid reactive substances, and tocopherols during storage. **Poultry Science**, v. 86, n. 5, p. 953-958, 2007.

ÇİTİL, O.B.; YILDIRIM, I.; PARLAT, S.S. The effects of dietary flaxseed oil supplementations on fatty acids composition of the yolks in quail (*Coturnix coturnix japonica*) eggs. **Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi**, v. 17, n. 5, p. 761-766, 2011. Disponível em: <http://vetdergi.kafkas.edu.tr/extdocs/2011_5/761-766.pdf> Acesso em 12 abr. 2012.

FAITARONE, A.B.G. **Fornecimento de fontes lipídicas na dieta de poedeiras e seus efeitos sobre o desempenho, qualidade dos ovos, perfil de ácidos graxos e colesterol na gema**. 2010. 108 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.

FAO/WHO. Food and Agriculture Organization of the United Nations/World Health Organization. Report of an expert consultation on Fats and fatty acids in human nutrition. Food and Nutrition Paper, n. 91, p. 9-20, 2010. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/013/i1953e/i1953e00.pdf>> Acesso em: 13 out. 2013.

FERREIRA, M.W.; BRESSAN, M.C.; SOUZA, X.R.; OLIVEIRA E VIEIRA, J.; FARIA, P.B.; ANDRADE, P.L. Efeito dos métodos de cocção sobre a composição química e perfil lipídico de filés de tilápia do nilo (*Oreochromis niloticus* Linnaeus 1757). **Ciência Agrotécnica**, v. 31, n. 3, p. 798-803, 2007.

GIAMPIETRO, A.; SCATOLINI A.M.; BOIAGO, M.M.; CORÓ, D.M.O.; SOUZA, H.B.A.; SOUZA, P.A.; LIMA, T.M.A.; PIZZOLANTE, C.C. Estudo da metodologia de TBARS em ovos. **Revista Produção Animal/Avicultura**, Campinas, maio 2008. Disponível em: <http://www.avisite.com.br/cet/img/20080506_alinetbars.pdf>. Acesso 22 maio 2011.

GÓMEZ, M.E.B.; MENDONÇA JUNIOR, C.X.; MANCINI FILHO, J. Estabilidad oxidativa de huevos enriquecidos con ácidos grasos poliinsaturados omega 3, frente a antioxidantes naturales. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, v.39, n.4, p.425-432, 2003.

HARTMAN, L.; LAGO, R.C.A. Rapid preparation of fatty acids methyl esters from lipids. **Laboratory Practice**, London, v. 22, p. 475-476, 1973.

HAYAT, Z.; CHERIAN, G.; PASHA, T.N.; KHATTAK, F.M.; JABBAR, M.A. Oxidative stability and lipid components of eggs from flax-fed hens: effect of dietary antioxidants and storage. **Poultry Science**, v. 89, n. 6, p. 1285-1292, 2010.

- HUSSEIN, N.; AH-SING, E.; WILKINSON, P.; LEACH, C.; GRIFFIN, B.A.; MILLWARD, D.J. Long-chain conversion of [13C] linoleic acid and α -linolenic acid in response to marked changes in their dietary intake in men. **Journal of Lipid Research**, v. 46, n. 2, p. 269-280, 2005.
- KANG, K.R.; CHERIAN, G.; SIM, J.S. Dietary palm oil alters the lipid stability of polyunsaturated fatty acid-modified poultry products. **Poultry Science**, v. 80, n. 2, p. 228-234, 2001.
- MARTIN, C.A.; ALMEIDA, V.V.; RUIZ, M.R.; VISENTAINER, J.E.L.; MATSUSHITA, M.; SOUZA, N.E.; VISENTAINER, J.V. Ácidos graxos poliinsaturados ômega-3 e ômega-6: importância e ocorrência em alimentos. **Revista de Nutrição de Campinas**, v. 19, p. 761-770, 2006.
- MAZALLI, M.R.; BRAGAGNOLO, N. Increase of cholesterol oxidation and decrease of PUFA as a result of thermal processing and storage in eggs enriched with n-3 fatty acids. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 57, n. 11, p. 5028-5034, 2009.
- MILINSK, M.C.; MURAKAMI, A.E.; GOMES, S.T.E.; MATSUSHITA, M.; SOUZA, N.E. Fatty acid profile of egg yolk lipids from hens fed diets rich in n-3 fatty acids. **Food Chemistry**, v. 83, n. 2, p. 287-292, 2003.
- NAHTIGAL, B.; SMIDOVNIK, A.; GOLC-WONDRA, A. Determination of fatty acids in ordinary and omega-enriched eggs, prepared in four different ways: raw, boiled for 3 and 8 minutes and fried, old 3/7 days and after 4 weeks of storage. **Czech Journal of Food Sciences**, v.18, p.138-141, 2000.
- PAPPAS, A.C.; ACAMOVIC, T.; SPARKS, N.H.; SURAI, P.F.; MCDEVITT, R.M. Effects of supplementing broiler breeder diets with organic selenium and polyunsaturated fatty acids on egg quality during storage. **Poultry Science**, v. 84, n. 8, p. 865-874, 2005.
- PEREIRA, A.L.F.; VIDAL, T.F.; ABREU, V.K.G.; ZAPATA, J. F. F.; FREITAS, E. R. (2011). Type of dietary lipids and storing time on egg stability. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 31, n. 4, p. 984-991, 2011.
- PITA, M.C.G.; CARVALHO, P.R.; PIBER NETO, E.; MENDONÇA JÚNIOR, C.X. Vegetable and marine sources of supplementaries PUFAs in the diet of laying hens: effect on lipid composition of the plasma and of the egg yolk and time of incorporation of omega 6 PUFAs. **Journal of Applied Sciences Research**, v. 7, n. 5, p. 654-671, 2011.
- ROSTAGNO, H.S.; ALBINO, L.F.T.; DONZELE, J.L.; GOMES, P.C.; OLIVEIRA, R.F.M.; LOPES, D.C.; FERREIRA, A.S.; BARRETO, S.L.T. **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Zootecnia, 2011. 252 p.
- SILVA, W.A.; ELIAS, A.H.N.; ARICETTI, J.A.; SAKAMOTO, M.I.; MURAKAMI, A.E.; GOMES, S.T.M.; VISENTAINER, J.V.; SOUZA, N.E.; MATSUSHITA, M. Quail egg yolk (*Coturnix coturnix japonica*) enriched with omega-3 fatty acids. **Food Science and Technology**, v. 42, p. 660-663, 2009.
- TARPILA, S.; ARO, A.; SALMINEN, I.; TARPILA, A.; KLEEMOLA, P.; AKKILA, J.; ADLERCREUTZ, H. The effect of flaxseed supplementation in processed foods on serum fatty acids and enterolactone. **European Journal of Clinical Nutrition**, v. 56, p. 157-165, 2002.
- WANG, Y.; SUNWOO, H.; CHERIAN, G.; SIM, J.S. Fatty acid determination in chicken egg yolk: a comparison of different methods. **Poultry Science**, v. 79, p. 1168-1171, 2000.

CAPÍTULO IV

Fontes de ômega 3 em rações para codornas japonesas: desempenho zootécnico, qualidade de ovos e tempo de incorporação de ácidos graxos na gema

RESUMO – Objetivou-se avaliar o desempenho zootécnico, a qualidade dos ovos e o tempo de incorporação de ácidos graxos na gema de ovos de codornas japonesas alimentadas com rações suplementadas com 2% de óleo como fonte de ômega 3 (soja, linhaça, peixe e canola). Adotou-se delineamento inteiramente casualizado composto de quatro tratamentos (óleos rico em ômega 3) com oito repetições e oito aves por parcela. A utilização das fontes de ômega 3 não alterou significativamente nenhum dos parâmetros de desempenho nem a qualidade interna e externa dos ovos, com exceção da intensidade da coloração amarela da gema. Maior incorporação de n-3 total e dos ácidos linolênico, eicosapentaenoico e docosahexaenoico e menores teores de ácidos linoléico, araquidônico e n-6 total e melhor razão n-6/n-3 nos ovos foi promovida pela adição de óleo de linhaça na ração das codornas. A inclusão de fontes de ômega 3 na ração de codornas não prejudica o desempenho nem a qualidade dos ovos, sendo intensificada a coloração amarela da gema com a utilização dos óleos de linhaça, de peixe ou de canola. O tempo médio de incorporação de ácidos graxos na gema é de 21 dias de alimentação com rações contendo as fontes de ômega 3.

Palavras-chave: Coturnix; óleo de linhaça; óleo de soja; óleo de peixe; óleo de canola

Sources of omega-3 in diets for Japanese quails: zootechnical performance, egg quality and time of incorporation of fatty acids in the yolk

ABSTRACT - It was aimed to evaluate zootechnical performance, egg quality and time of incorporation of fatty acids in the egg yolk of Japanese quail fed diets supplemented with 2% of omega 3 rich oils (soybean, linseed, fish and canola). It was adopted a randomized design consisting of four treatments (omega 3 sources) with eight replicates and eight birds per cage. The use of sources of omega 3 did not significantly change any of the parameters of performance or internal and external egg quality, except for the intensity of the yellow color of the yolk. Highest incorporation of total n-3 and the acids linolenic, eicosapentaenoic and docosahexaenoic, and reduced amounts of linoleic acid, arachidonic acid and total n-6 and best n-6/n-3 ratio in eggs was promoted by the addition of linseed oil. The inclusion of sources of omega 3 in the diet of Japanese quails not affect the performance or quality of eggs, the yellow color of the yolk was intensified with the inclusion of linseed oil, fish oil or canola oil. The average time to incorporation of fatty acids in the yolk is 21 days of feeding quails with diets containing sources of omega 3.

Keywords: Coturnix, linseed oil, soybean oil, fish oil, canola oil

1. INTRODUÇÃO

Dentre os produtos de origem animal, tais como carne, leite e ovos, que possuem papel relevante na nutrição humana, os quais o conteúdo e a composição dos lipídios são objetos de crescente apreensão por parte do consumidor, destacam-se os ovos, que apesar de ser um alimento nutricionalmente completo e considerado um alimento funcional, pois é fonte de proteínas, vitaminas e minerais, existe uma preocupação dos consumidores direcionada para o teor de colesterol e de ácidos graxos da porção lipídica da gema.

Pesquisas demonstram que a utilização de fontes de ômega 3 em rações de aves pode alterar o conteúdo de colesterol dos ovos, porém, apesar de alguns estudos demonstrarem haver redução ou não alterações nos níveis de colesterol na gema de ovos com o fornecimento de dietas ricas em ácidos graxos poli-insaturados (AGPI) ômega 3 (n-3), a inclusão de ingredientes, fonte desses ácidos graxos, altera benéficamente o perfil lipídico da gema.

A literatura fornece evidências convincentes para o benefício à saúde do consumo de AGPI n-3 na prevenção e tratamento da síndrome metabólica (conjunto de sintomas, como a obesidade visceral, a resistência à insulina, pressão arterial elevada, dislipidemia associado ao aumento do risco de diabetes tipo 2, doença cardiovascular, cirrose hepática não alcoólica e alguns tipos de câncer) (Molendi-Coste et al., 2011).

Contudo, a semente ou o óleo de linhaça, excelente fonte de ácido alfa-linolênico (C18:3 n-3, AAL) e os peixes, a mais rica fonte dietética de AGPI de cadeia muito longa (AGPI-CML) da série n-3, entre eles o eicosapentaenoico (EPA) e docosahexaenoico (DHA), não são comumente utilizados em dietas humanas. Assim, de acordo com Molendi-Coste et al. (2011), o enriquecimento de alimentos é, provavelmente, a melhor solução a longo prazo para aumentar a ingestão de ômega 3.

Segundo Bourre (2005) é interessante enriquecer produtos de origem animal através da suplementação de rações com fontes ricas em ômega 3, como o óleo de canola, de linhaça ou de peixe, tornando, desta forma, a ingestão de n-6/n-3 mais equilibrada na alimentação humana. De acordo com o autor, os ovos são o modelo perfeito de transferência de nutrientes da dieta, uma vez que o tipo de ácido graxo na gema está intimamente relacionado ao tipo de lipídio consumido pela ave.

Considerando o crescimento e o desenvolvimento da coturnicultura nos últimos anos, demonstrado por Bertechini (2010), destacado pelo incremento do número de codornas alojadas associado ao aumento constante da demanda dos consumidores,

evidenciado pelo consumo de ovos per capita anual, surge a necessidade de avaliar se a inclusão de fontes de ômega 3 na dieta de codornas promove o enriquecimento dos ovos, como já demonstrado com galinhas, sem alterar sua qualidade nutricional e sensorial, disponibilizando ao mercado consumidor um alimento diferenciado.

Em função da escassez de resultados da suplementação dietética de fontes de AGPI n-3 para codornas, objetivou-se estudar os efeitos da utilização de diferentes fontes de ômega 3 na ração de codornas japonesas sobre o desempenho zootécnico e a qualidade interna e externa dos ovos, como também analisar o tempo de incorporação dos ácidos graxos na gema.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Local, aves, dietas e manejo

O experimento foi conduzido no setor de Avicultura do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa (UFV)-Minas Gerais, no período de maio a julho de 2011, com duração de 84 dias divididos em quatro períodos de 21 dias cada (Processo nº 33/2012, aprovado pelo Comitê de Ética para Uso de Animais do Departamento de Zootecnia da UFV).

Foi realizada a criação de um plantel com 700 codornas japonesas (*Coturnix coturnix japonica*) até o pico de postura, das quais 256 aves, com aproximadamente 110 dias de idade, foram selecionadas para receber rações com suplementação com 2% de óleo como fonte de ômega 3, sendo utilizados o óleo de soja, de linhaça, de peixe e de canola.

As exigências nutricionais foram baseadas na média obtida para codornas com peso entre 165 a 177 g, sendo que todos os nutrientes foram corrigidos pela densidade energética da ração e a composição nutricional dos alimentos foi de acordo com os dados determinados para aves publicados por Rostagno et al. (2011).

As rações foram formuladas para conter 20% de proteína bruta e 2.800 kcal de energia metabolizável/kg, sendo isocalóricas, isoprotéicas e isoaminoacídicas, a base de milho e farelo de soja (Tabela 1). Foi analisado o perfil de ácidos graxos dos óleos e das rações experimentais por cromatografia gasosa segundo a metodologia de Hartman & Lago (1973) (Tabela 2).

Tabela 1. Composições percentuais e valores nutricionais das rações experimentais na matéria natural para codornas japonesas em postura

Ingredientes	Óleo de Soja	Óleo de Linhaça	Óleo de Peixe	Óleo de Canola
Milho grão	54,921	54,921	54,921	54,921
Farelo de Soja (45%)	34,049	34,049	34,049	34,049
Óleo	2,000	2,000	2,000	2,000
Calcário calcítico	6,860	6,860	6,860	6,860
Fosfato bicálcico	1,093	1,093	1,093	1,093
Sal comum	0,333	0,333	0,333	0,333
DL- Metionina (99%)	0,341	0,341	0,341	0,341
L- Lisina HCL (79%)	0,140	0,140	0,140	0,140
L- Triptofano (99%)	0,004	0,004	0,004	0,004
Cloreto de colina (60%)	0,100	0,100	0,100	0,100
Suplemento vitamínico ¹	0,100	0,100	0,100	0,100
Suplemento mineral ²	0,050	0,050	0,050	0,050
Antioxidante ³	0,010	0,010	0,010	0,010
Total	100,00	100,00	100,00	100,00

Composição calculada:

Energia metabolizável (kcal/kg)	2.800	2.800	2.800	2.800
Proteína bruta (%)	20,00	20,00	20,00	20,00
Metionina + cistina digestível (%)	0,894	0,894	0,894	0,894
Lisina digestível (%)	1,090	1,090	1,090	1,090
Treonina digestível (%)	0,683	0,683	0,683	0,683
Triptofano digestível (%)	0,229	0,229	0,229	0,229
Arginina digestível (%)	1,287	1,287	1,287	1,287
Valina digestível (%)	0,849	0,849	0,849	0,849
Isoleucina digestível (%)	0,797	0,797	0,797	0,797
Cálcio (%)	3,000	3,000	3,000	3,000
Fósforo disponível (%)	0,310	0,310	0,310	0,310
Sódio (%)	0,150	0,150	0,150	0,150

¹Composição/kg de produto: Vit. A:12.000.000 U.I., Vit D₃:3.600.000 U.I., Vit. E: 3.500 U.I., Vit B₁:2.500 mg, Vit B₂: 8.000 mg, Vit B₆:5.000 mg, Ácido pantotênico: 12.000 mg, Biotina: 200 mg, Vit. K: 3.000 mg, Ácido fólico: 1.500mg, Ácido nicotínico: 40.000 mg, Vit. B₁₂: 20.000 mg, Selênio: 150 mg, Veículo q.s.p.: 1.000g; ²Composição/kg de produto: Mn: 160g, Fe: 100g, Zn: 100g, Cu: 20g, Co: 2g, I: 2g, Veículo q.s.p.: 1000 g; ³Butil-hidróxi-tolueno, BHT (99%).

Tabela 2. Composição analisada de ácidos graxos dos óleos vegetais e das rações experimentais para codornas japonesas em postura (% do total de ácidos graxos)

Ácido Graxo	Óleos				Rações experimentais			
	Soja	Linhaça	Peixe	Canola	T1	T2	T3	T4
Palmítico (C16:0)	10,37	5,40	12,59	4,56	33,99	13,93	15,63	14,65
Esteárico (C18:0)	4,27	4,31	3,71	3,08	5,69	2,09	2,24	2,30
Oleico (C18:1)	25,04	19,47	26,96	66,56	12,67	24,25	20,98	29,93
Ácido Linoléico (C18:2 n6)	54,00	13,44	50,19	17,71	30,67	27,27	55,30	48,42
Ácido Linolênico (C18:3 n3)	6,32	57,29	4,64	8,09	2,88	11,29	3,66	4,43
Ácido Eicosapentaenoico (C20:5 n3)	nd	nd	0,61	nd	nd	nd	nd	nd
Ácido Docosaheptaenoico (C22:6 n3)	nd	nd	1,31	nd	nd	nd	nd	nd
Relação n-6/n-3	8,54	0,23	7,65	2,19	10,65	4,19	15,11	10,93

Análises em duplicata. nd = não detectado.

T1- 2% de óleo de soja; T2 – 2,0% de óleo de linhaça; T3 - 2,0% de óleo de peixe; T4 - 2,0% de óleo de canola

As aves foram alojadas em gaiolas de arame galvanizado, com as dimensões de 100 x 34 x 16 cm (comprimento x largura x altura), contendo quatro divisórias de 25 x 34 cm totalizando 850 cm². A densidade animal por unidade experimental foi de 106 cm²/ave.

As rações experimentais foram fornecidas à vontade, duas vezes ao dia, em comedouro de chapa metálica galvanizada, tipo calha, percorrendo toda a extensão das gaiolas, o comedouro foi dividido de acordo com cada tratamento e repetição. A água também foi fornecida à vontade em bebedouro tipo *nipple* com copinho, sendo um bebedouro para cada duas unidades experimentais.

O manejo diário consistiu em recolher e contabilizar os ovos (foram computados diariamente o número de ovos quebrados, trincados, com casca mole e sem casca), fornecer a ração, limpar os aparadores de ovos e realizar leitura das temperaturas (máxima e mínima) e umidade relativa do ar (UR).

Foram monitoradas as temperaturas e a UR duas vezes ao dia, às 8 e às 16 horas, por meio de termômetros de máxima e mínima e de bulbo seco e úmido, posicionados no centro do galpão, à altura do dorso das aves.

Foram fornecidas 16 horas de luz diárias durante todo o período experimental. Este fornecimento de luz foi controlado por um relógio automático (*timer*), que permitia o acender e o apagar das luzes durante o período da noite e da madrugada, conforme o procedimento adotado nas granjas comerciais.

2.2. Parâmetros avaliados

Foi avaliado o desempenho zootécnico (consumo de ração; produção de ovos [ave/dia e ave alojada]; produção de ovos comercializáveis; peso médio e massa de ovos; conversão alimentar por dúzia e por massa de ovos e viabilidade das aves); a qualidade dos ovos (peso específico, peso e porcentagem dos componentes e intensidade da cor amarela das gemas) e o tempo de incorporação dos ácidos graxos da gema *in natura*. Na análise estatística, com exceção para este último parâmetro, foi utilizada a média dos quatro períodos de 21 dias de cada parâmetro avaliado.

Ao final de cada período experimental, de 21 dias, as sobras de ração de cada parcela foram pesadas e descontadas da quantidade de ração fornecida a fim de se obter o consumo de ração. No caso de aves mortas durante o período, seu consumo médio foi descontado e corrigido, obtendo-se o consumo médio verdadeiro para a unidade experimental em questão.

Os ovos foram colhidos diariamente às 8:00 horas. A produção média de ovos foi obtida computando-se o número de ovos produzidos, incluindo os quebrados, os trincados e os anormais (ovos com casca mole e sem casca) sendo expressa em porcentagem sobre a média de aves do período (ovo/ave/dia) e, sobre o número de aves alojadas no início do experimento (ovo/ave alojada). Para determinação da produção de ovos comercializáveis, em cada período de 21 dias, foi descontado o número de ovos quebrados, trincados, com casca mole e sem casca da produção total de ovos, sendo então calculada a relação entre os ovos íntegros e totais de ovos produzidos durante cada período.

Todos os ovos íntegros produzidos em cada repetição foram pesados durante os três últimos dias de cada período de 21 dias para obtenção do peso médio. O peso médio dos ovos foi multiplicado pela produção de ovos/ave/dia, obtendo-se assim a massa total de ovos.

A conversão alimentar por dúzia de ovos foi calculada pela relação do consumo total de ração em quilogramas dividido pela dúzia de ovos produzidos (kg/dz) e a conversão alimentar por massa de ovos foi obtida pelo consumo de ração em kg dividido pela massa total de ovos (kg/kg).

A mortalidade das aves foi monitorada diariamente, para que ao final do período experimental fosse obtida a taxa de viabilidade das aves, calculada pela diferença do número de aves vivas pelo número de aves mortas, sendo o resultado final convertido em porcentagem.

O peso específico dos ovos foi determinado no 16º, 17º e 18º dia de cada período de 21 dias, através da imersão dos ovos íntegros em soluções salinas com densidade variando de 1,055 a 1,090 g/cm³, com intervalos de 0,005 g/cm³, devidamente calibradas por meio de um densímetro (OM-5565, Incoterm[®]).

Para quantificação dos componentes dos ovos foram avaliados o peso da gema, o peso do albúmen e o peso da casca do ovo. Para isso, no 19º, 20º e 21º dia de cada período de 21 dias foram coletados todos os ovos íntegros de cada repetição, dos quais foram selecionados aleatoriamente quatro ovos. Os ovos de cada repetição e de cada dia foram pesados individualmente em balança com precisão de 0,001 g. Após as pesagens, os ovos foram identificados, em seguida quebrados e procedeu-se a separação da gema e do albúmen. O peso da gema de cada ovo foi registrado e em seguida a gema foi destinada à determinação da pigmentação. O peso do albúmen foi obtido entre a diferença do peso do ovo menos o peso da gema mais o peso da casca, sendo este obtido

após lavagem da casca e posterior secagem ao ar por 72 horas. A porcentagem de albúmen, gema e casca foi obtida dividindo-se os pesos dos respectivos componentes pelo peso médio dos ovos e o resultado foi multiplicado por 100.

Foi avaliada a intensidade da cor amarela (valor de b^*) das gemas através do modo direto de caracterização cromática utilizando-se a colorimetria de triestímulos, no sistema CIELAB, por meio do colorímetro Minolta CR 400 (Konica Minolta Sensing, Inc.). No sistema de cores CIELAB utiliza-se três coordenadas do croma (L^* , a^* e b^*) para descrever o padrão cromático da gema. O valor de L^* define os valores de luminosidade, que varia do preto ($L=0$) ao branco ($L=100$); a^* indica a região do vermelho (+a) ao verde (-a) e o b^* do amarelo (+b) ao azul (-b). O colorímetro foi previamente calibrado em superfície branca, de acordo com padrões pré-estabelecidos pelo equipamento. Após esse procedimento, as quatro gemas por repetição, utilizadas na quantificação dos componentes dos ovos, foram colocadas em placa de *Petri* de vidro sobreposta em placa branca. Para cada repetição, o registro das coordenadas de cor foi realizado em cinco diferentes pontos da placa contendo as gemas, cujos resultados foram expressos como a média dos cinco registros da coordenada b^* .

Foi determinado o perfil de ácidos graxos das gemas dos ovos das codornas no tempo zero (antes do fornecimento das rações experimentais); 3°, 6°, 9°, 12°, 15°, 21° e 45° dia experimental. De modo a se obter uma amostra para cada duas unidades experimentais (“pool” de seis gemas), foram coletados aleatoriamente três ovos por unidade experimental, totalizando 24 ovos por tratamento. Os ovos foram quebrados e as gemas separadas manualmente do albúmen, em seguida foram homogeneizadas com colher descartável em placa de *Petri*, colocadas em recipientes de alumínio com tampa. As amostras foram pesadas, liofilizadas e armazenadas em freezer a -18°C até a realização das análises.

2.3. Análises químicas

A determinação do perfil dos ácidos graxos nas gemas foi realizada por cromatografia gasosa utilizando-se o método de metilação direta de acordo com Wang et al. (2000). Foram pesados aproximadamente 50 mg de gema liofilizada em um tubo de esterificação. Foi acrescentado 2,0 mg/mL do padrão interno (ácido nonadecanóico, C19:0) em hexano, 1 mL de metanol e 3 mL de HCl metanólico 3N. Os tubos foram fechados e apertados firmemente e levados ao banho-maria a 95°C por uma hora. Após resfriarem a temperatura ambiente, adicionou-se 8 mL de solução de NaCl 0,88% e 3

mL de hexano, em seguida, o conteúdo foi misturado em agitador de tubos. Os tubos foram mantidos em repouso até a separação das fases. Recolheu-se a camada superior que foi transferida para um vidro âmbar devidamente identificado. As amostras foram mantidas em freezer para posterior injeção no cromatógrafo gasoso.

Os metil ésteres dos ácidos graxos foram identificados por comparação com os tempos de retenção do padrão. O conteúdo dos ácidos graxos das gemas dos ovos foi expresso em porcentagem.

Foram adotadas as seguintes condições cromatográficas: coluna capilar de sílica fundida, Carbowax 100M (100 m x 0,25 mm d.i), através do detector ionização de chama com a seguinte programação: temperatura inicial de 140°C mantida por 5 minutos, aumento da temperatura até 240°C à razão de 4°C por minuto e mantida por 20 minutos utilizando-se o gás de arraste mistura de oxigênio:nitrogênio (2:2) + hidrogênio+ nitrogênio, com um fluxo de 1 mL/min, e a temperatura do injetor de 240°C e do detector de 260°C.

2.4. Delineamento experimental e análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância através do programa estatístico SAS 2008, versão 9.2 (SAS Inst., Cary, Estados Unidos).

O delineamento experimental utilizado na avaliação dos parâmetros de desempenho e qualidade de ovos foi o inteiramente casualizado constituído de quatro tipos de óleo fonte de ômega 3 (óleo de soja, de linhaça, de peixe ou de canola) com oito repetições e oito aves por unidade experimental. Foi adotado o teste de *Tukey* para comparação entre as médias.

Para a avaliação do tempo de incorporação dos ácidos graxos da gema *in natura*, adotou-se um delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 4 x 8, sendo quatro tipos de óleo fonte de ômega 3 (óleo de soja, de linhaça, de peixe ou de canola) e oito tempos de incorporação (0, 3, 6, 9, 12, 15, 21 e 45° dia) com quatro repetições de seis gemas cada (“pool”). Na ocorrência de interação significativa entre a fonte de ômega 3 e tempo de incorporação de ácidos graxos na gema procedeu-se o estudo do efeito da fonte de ômega 3 dentro de cada tempo de incorporação. Na ausência de interação, procedeu-se a análise de regressão para tempo de incorporação, e utilizou-se o teste de *Tukey* para comparação entre as médias das fontes de ômega 3.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Desempenho zootécnico das codornas

As temperaturas de bulbo seco, máxima e mínima registradas durante o período experimental foram $19,8 \pm 3,5^{\circ}\text{C}$; $24,9 \pm 1,7^{\circ}\text{C}$ e $12,5 \pm 2,5^{\circ}\text{C}$, respectivamente, e a umidade relativa do ar de $74 \pm 4,1\%$.

A faixa de conforto térmico de codornas na fase adulta está compreendida entre 18 e 22°C e a umidade relativa entre 65 e 70% (Oliveira, 2007). Baseado nesta informação e conforme os valores registrados para o termômetro de bulbo seco é possível inferir que durante a maior parte do período experimental as codornas ficaram em condições de conforto térmico ou em situações de estresse pelo frio, já a umidade relativa ficou acima do recomendado, contudo esse fator climático não alterou o desempenho zootécnico das aves. Sugere-se, portanto, para melhor elucidação de tais contradições, a realização de pesquisas científicas que avaliem a faixa de conforto térmico dessas aves.

A utilização de diferentes fontes de ômega 3 na alimentação das codornas não alterou ($P>0,05$) nenhum dos parâmetros de desempenho zootécnico (Tabela 3), o que indica a viabilidade, em termos produtivos, da suplementação de qualquer uma das fontes de ômega 3 (óleo de linhaça, de peixe ou de canola) na ração das aves em substituição ao óleo de soja.

Tabela 3. Desempenho de codornas japonesas alimentadas com ração com diferentes tipos de óleo como fonte de ômega 3

Parâmetro	Óleo de Soja	Óleo de Linhaça	Óleo de Peixe	Óleo de Canola	P-Valor	CV (%)
Consumo de ração (g/ave/dia)	27,00	26,86	26,70	26,85	0,8707	2,65
Produção de ovos/ave/dia (%)	90,79	91,94	92,23	90,43	0,6807	3,79
Produção de ovos comercializáveis (%/ave/dia)	89,82	90,41	91,44	89,34	0,7440	4,40
Produção de ovos/ave alojada (%)	89,25	91,34	92,23	88,67	0,2718	4,51
Peso do ovo (g)	12,00	11,90	12,14	12,02	0,1941	1,78
Massa de ovos (g/ave/dia)	10,67	10,61	11,02	10,56	0,2145	4,33
Conversão alimentar (kg/kg)	2,51	2,49	2,42	2,50	0,3146	4,27
Conversão alimentar (kg/dúzia)	0,361	0,355	0,352	0,361	0,5433	4,11
Viabilidade (%)	93,75	96,88	100,00	95,31	0,2681	6,65

CV = Coeficiente de Variação.

Os resultados obtidos assemelham-se aos encontrados por Oliveira et al. (2010a) em que a adição de $3,4\%$ de óleos vegetais (soja, girassol ou linhaça) à dieta de galinhas poedeiras leves, com 20 e 54 semanas de idade, não exerceu efeito significativo sobre o

consumo de ração, a conversão alimentar por dúzia de ovos, a produção de ovos e o peso do ovo.

Análogo ao observado com as codornas nesta pesquisa, Costa et al. (2008a) também não verificaram efeito significativo da suplementação máxima de 2% óleo de soja ou 2% óleo de linhaça em rações para galinhas poedeiras semipesadas. Os autores salientaram que em todo o experimento, a taxa de postura se manteve acima de 80% em todos os tratamentos e que a inclusão de no máximo 2% óleo de linhaça na ração não teve efeito sobre o consumo de ração, e ainda que a produção de ovos das galinhas alimentadas com as rações contendo apenas óleo de soja foi similar à das aves cuja ração continha somente óleo de linhaça. Entretanto, quando Costa et al. (2008b) forneceram a galinhas rações controle (sem óleo) e com inclusão de 1, 2 ou 3% de óleo de canola ou de soja, verificaram que a produção de ovos foi afetada apenas pela dieta com 1% óleo de soja, que piorou a produção de ovos em comparação à ração controle. Também foi verificado efeito linear dos níveis de óleo de soja sobre a produção de ovos, a cada percentual de óleo de soja adicionado, houve aumento de 4,47% na produção – no nível máximo, a produção foi de 92,53%. Não foi constatado efeito significativo do aumento dos níveis de óleo de canola sobre a produção de ovos, que foi de 88,40%.

Já Santos et al. (2009) ao alimentarem galinhas poedeiras leves com rações sem óleo (controle) e adição de 2 ou 4% de óleos vegetais (soja, linhaça ou algodão) constataram que as galinhas que receberam rações contendo 2% óleo de linhaça e 2% óleo de soja apresentaram maior porcentagem de postura, a qual diferiu estatisticamente das aves que receberam rações controle, 4% óleo de linhaça e 4% óleo de algodão.

A adição à dieta das codornas de 2% de óleo como fonte de ômega 3 não provocou alteração ($P>0,05$) no consumo de ração. Rizzi et al. (2009) destacaram que a suplementação da dieta de galinhas com óleo de peixe, óleo de linhaça ou microalgas, com ou sem selênio ou iodo, mostrou ter pouca influência sobre as características de produção, entretanto, houve menor ingestão de ração pelas aves alimentadas com óleo de linhaça e de peixe, o que foi atribuído, pelos autores, ao sabor desagradável desses ingredientes. É importante destacar que na pesquisa de Rizzi et al. (2009) foi adicionado 4,95% de óleo de peixe à dieta das galinhas, o que pode ter comprometido a palatabilidade da ração.

Costa et al. (2008b) constataram que não houve efeito significativo do tipo ou do nível de óleo (1, 2 ou 3% óleo de soja ou de canola) sobre o consumo de ração de galinhas poedeiras semipesadas. Faitarone (2010) verificou que galinhas poedeiras leves

apresentaram menor consumo de ração quando receberam rações sem inclusão de óleo ou suplementadas com 2,5% óleo de linhaça + 2,5% óleo de canola comparadas às aves alimentadas com rações suplementadas com 2,5% de óleo de soja e 2,5% óleo de linhaça + 2,5% óleo de soja, sendo que os demais tratamentos (2,5% óleo de linhaça; 2,5% óleo de canola; 5% óleo de linhaça; 5% óleo de canola; 5% de óleo de soja; 2,5% óleo de canola + 2,5% de óleo de soja) apresentaram valores intermediários e não diferiram estatisticamente entre si.

Al Daraji et al. (2010) ao fornecerem para codornas japonesas rações suplementadas com 3% de óleo vegetal (girassol, linhaça, milho ou peixe) observaram que o consumo de ração não foi afetado pelos uso dos óleos nas rações, enquanto o peso e massa de ovos e a produção de ovos por período e acumulada foram superiores nos grupos de codornas alimentadas com ração contendo óleo de peixe seguido pelo tratamento com óleo de linhaça comparado com os grupos que receberam as rações suplementadas com os demais óleos.

O peso dos ovos apresentaram valores semelhantes ($P>0,05$) independente da fonte de ômega 3 utilizada na ração (Tabela 3).

Santos et al. (2009) constataram que galinhas submetidas à dieta sem adição de óleo, que tiveram como aporte de ácido linoléico (AL) apenas o milho e o farelo de soja, não produziram, necessariamente, ovos com menor peso em relação aos das aves alimentadas com ração suplementada com 2 ou 4% óleo de soja, de linhaça ou de algodão. Jensen & Shutze (1963) afirmaram que a inclusão do AL incrementa o peso do ovo e da gema, mas que esses efeitos somente são visíveis com o uso de dietas deficientes em AL como testemunhas. Entretanto, Oliveira et al. (2010a), verificaram que independente da fonte lipídica (3,4% óleo de soja, de linhaça ou de girassol), as galinhas jovens (20 a 28 semanas de idade) alimentadas com ração adicionada de óleos vegetais produziram ovos significativamente mais pesados do que as que receberam a ração controle, sem adição de óleos.

Nesta pesquisa, a conversão alimentar por dúzia e a conversão alimentar por massa de ovos não foram afetadas ($P>0,05$) pela inclusão das diferentes fontes de ômega 3 na ração das codornas. Ao contrário, Costa et al. (2008b) observaram que houve efeito linear dos níveis (1, 2 ou 3%) de óleo de soja ou de canola sobre a conversão alimentar por massa de ovo de galinhas, que melhorou com o aumento dos níveis de óleo de soja e piorou com o aumento dos níveis de óleo de canola. A

conversão por dúzia, no entanto, somente foi significativamente influenciada pelo óleo de soja, que, a cada nível, melhorou em 0,085 pontos.

Santos et al. (2009) verificaram que a conversão alimentar por massa de ovos das galinhas que receberam ração contendo 2% óleo de linhaça apresentou o melhor valor numérico, apesar de não diferir significativamente das aves alimentadas com as rações com 2% ou 4% óleo de soja e 4% óleo de linhaça.

Assim como observado neste estudo com codornas, Lelis et al. (2009) não verificaram alteração na produção de ovos, na massa de ovos produzida nem na conversão alimentar por massa e por dúzia de ovos com a adição de 2 ou 4% de óleo de soja, de linhaça, de canola ou de peixe à dieta de galinhas poedeiras leves e semipesadas.

3.2. Características de qualidade interna e externa dos ovos de codorna

Não houve efeito ($P>0,05$) da utilização das diferentes fontes de ômega 3 na ração sobre a qualidade interna e externa dos ovos das codornas, com exceção da intensidade da coloração amarela da gema (valor de b^*) que diferiu ($P<0,05$) entre os tratamentos (Tabela 4).

Tabela 4. Qualidade interna e externa de ovos de codornas japonesas alimentadas com dietas com diferentes tipos de óleo como fonte de ômega 3

Parâmetro	Óleo de Soja	Óleo de Linhaça	Óleo de Peixe	Óleo de Canola	P-Valor	CV (%)
Peso específico (g/cm ³)	1,075	1,075	1,074	1,074	0,1325	0,13
Peso da casca (g)	0,969	0,959	0,964	0,946	0,3801	2,78
Casca (%)	8,074	8,068	7,943	7,869	0,1478	2,55
Peso do albúmen (g)	7,426	7,329	7,513	7,438	0,1955	2,22
Albúmen (%)	61,893	61,587	61,905	61,865	0,6330	0,91
Peso da gema (g)	3,604	3,609	3,660	3,638	0,4590	2,17
Gema (%)	30,033	30,345	30,152	30,259	0,6597	1,72
Cor da gema (valor de b^*)	34,729 ^b	35,786 ^{ab}	36,480 ^a	36,067 ^a	0,0019	2,34

^{a-b} Médias seguidas de letras distintas na linha diferem entre si pelo teste Tukey ($P<0,05$).

CV = Coeficiente de Variação.

A utilização de altas concentrações de ácidos graxos na ração de aves domésticas pode provocar alterações físicas nos ovos. Muramatsu et al. (2005) demonstraram que dieta rica em gordura pode prejudicar a qualidade externa dos ovos, uma vez que os ácidos graxos interferem na absorção de cálcio ao formar sais com este nutriente no intestino delgado das aves. Entretanto nesta pesquisa, a utilização de 2% de óleo parece não ter influenciado a absorção de cálcio, pois as características

relacionadas à qualidade externa dos ovos não foram influenciadas ($P>0,05$) pela suplementação de óleo às dietas, o mesmo foi observado por outros autores com galinhas poedeiras (Costa et al., 2008a,b; Santos et al., 2009; Faitarone, 2010).

Semelhante ao verificado neste estudo com ovos de codornas, Costa et al. (2008a) constataram que o peso específico de ovos de galinhas poedeiras semipesadas foi idêntico nos tratamentos com 2% óleo de soja e 2% óleo de linhaça, além disso salientaram que em todos os tratamentos os valores foram superiores a 1,080 g/cm³, indicado como ideal por diversos autores, demonstrando que os ovos produzidos apresentaram boa qualidade da casca.

A média do peso específico dos ovos de codornas alimentadas com rações com diferentes fontes de ômega 3 foi 1,075 g/cm³, numericamente maior do que a média observada por Roll et al. (2011) de 1,073 g/cm³, segundo os autores, os valores de peso específico de ovos de codorna que apresentam boa qualidade são inferiores aos de ovos de galinhas poedeiras comerciais, mesmo que de pior qualidade, que giram em torno de 1,064 a 1,072, o que reflete, portanto, que as fontes de ômega 3 adicionadas à dieta das codornas não comprometeu a boa qualidade externa dos ovos.

O peso específico é uma estimativa da quantidade de casca depositada e está relacionada à porcentagem de casca (Costa et al., 2008a). Sendo assim, na presente pesquisa, como o peso específico não foi alterado ($P>0,05$) pelos tipos de óleo na ração das codornas, tanto o peso quanto a porcentagem de casca não apresentaram valores distintos ($P>0,05$) entre os tratamentos (Tabela 4).

Esses resultados concordam com Costa et al. (2008b) que ao fornecerem rações com diferentes níveis de óleos de soja e de canola para galinhas poedeiras semipesadas, verificaram que os níveis e o tipo de óleo não influenciaram significativamente os pesos e as porcentagens de albúmen, de gema e de casca, nem o peso específico dos ovos.

Santos et al. (2009) também não detectaram diferenças significativas na porcentagem de casca nos ovos de galinhas arraçadas com dietas contendo 2 ou 4% de óleo de soja, de linhaça ou de algodão comparadas à ração sem óleo. Do mesmo modo, Faitarone (2010) não observou alterações expressivas entre os tratamentos com suplementação de óleo e o tratamento controle (sem óleo), administrados às galinhas poedeiras, para as variáveis que refletem a qualidade da casca dos ovos (peso específico, resistência da casca à quebra, espessura de casca e porcentagem de casca).

Os pesos e as porcentagens de albúmen e de gema de ovos de codornas não foram influenciados ($P>0,05$) pelo fornecimento de rações suplementadas com óleos como fonte de ômega 3 (Tabela 4).

Santos et al. (2009) quando suplementaram a ração de galinhas poedeiras com 4% de óleo de linhaça constataram menor porcentagem de gema e maior porcentagem de albúmen comparado aos demais tratamentos (ração sem óleo, 2 ou 4% óleo de soja, 2% óleo de linhaça e 2 ou 4% óleo de algodão), que, por sua vez, não diferiram entre si. Os autores atribuíram essa redução na porcentagem de gema dos ovos à deficiência de ácido linoléico (AL) na ração suplementada com 4% óleo de linhaça, pois segundo Balvane (1970), rações deficientes em AL promovem redução de até 10 g no peso dos ovos de galinhas, sendo a gema o componente mais afetado.

Contudo, a utilização de óleo de linhaça, que tem conteúdo de AL reduzido em comparação com as demais fontes de ômega 3 adicionadas à ração das codornas (Tabela 2), não promoveu alteração ($P>0,05$) no peso do ovo (Tabela 3) nem tampouco no peso ou porcentagem de gema (Tabela 4). Resultado que concorda com o verificado por Faitarone (2010), que ao suplementar a ração de galinhas poedeiras com 2,5 ou 5% óleo de soja, de linhaça e de canola também não verificou alterações significativas nas porcentagens de gema e de albúmen dos ovos.

A intensidade da cor amarela da gema (valor de b^*) de ovos de codornas alimentadas com as fontes de ômega 3 foi alterada ($P<0,05$), sendo que a utilização dos óleos de peixe, de canola e de linhaça apresentaram maior intensidade de cor em relação a inclusão de óleo de soja, apesar dos ovos deste tratamento ter apresentado valor de b^* estatisticamente semelhante a adição de óleo de linhaça (Tabela 4).

Dependendo do ingrediente utilizado na ração de poedeiras para modificação dos níveis de ácidos graxos de ovos, podem ser percebidas alterações na intensidade de pigmentação da gema. A cor da gema não é indicativa de qualidade nutricional, mas sim do aspecto visual do ovo, fator determinante para aceitabilidade do produto pelo consumidor (Seibel, 2005).

Semelhante ao observado nesta pesquisa com codornas, em que apenas a intensidade da cor amarela da gema foi afetada pela fonte de ômega 3 incluída na ração, Costa et al. (2008a) não observaram efeito significativo da substituição do óleo de soja pelo óleo de linhaça em até 2% sobre a qualidade interna e externa dos ovos de galinhas semipesadas, à exceção da coloração da gema, mensurada através de leque colorimétrico, que foi mais intensa nos ovos de aves alimentadas com as rações

contendo mais que 1% óleo de linhaça em relação à dieta controle (sem adição de óleo). Destaca-se que a coloração da gema dos ovos das galinhas alimentadas com ração contendo exclusivamente óleo de soja foi mais clara do que à dos ovos produzidos no tratamento que continha apenas óleo de linhaça, 9,22 e 9,44; respectivamente.

As gemas dos ovos das codornas alimentadas com óleo de peixe apresentaram maior valor de b^* , portanto maior intensidade amarela, em relação aos demais óleos utilizados, indicando a presença de certo conteúdo de carotenóides. Monte et al. (2009) ressaltaram a preservação de carotenóides em óleo de peixe em função do tipo de processamento. Essa presença pode ser justificada em virtude de animais aquáticos se alimentarem de microalgas. Duarte (2010) destaca a alta capacidade de produção de carotenóides pelas microalgas, devido à capacidade fotossintética das mesmas. Cedro (2008) verificou que ovos convencionais, provenientes de galinhas poedeiras alimentadas com ração a base de milho e farelo de soja (basal), apresentaram gema menos pigmentada que os ovos enriquecidos com ômega 3 (adição de 1,5% substrato de algas marinhas e 1,8% óleo de peixe à ração basal).

Os ovos das codornas alimentadas com óleo de canola apresentaram cor amarela semelhante à dos ovos provenientes da alimentação com óleo de peixe e de linhaça. No entanto, Costa et al. (2008b) verificaram que as galinhas alimentadas com rações suplementadas com óleo (1 a 3% óleo de soja ou de canola) produziram ovos com gemas menos pigmentadas em comparação àquelas alimentadas com a ração controle (sem óleo), fato que relacionaram à maior porcentagem de milho e farelo de glúten – portanto, mais pigmentos naturais – da ração controle. Faitarone (2010) verificou que a cor da gema dos ovos provenientes das galinhas alimentadas com rações suplementadas com 5% óleo de linhaça e com 2,5% óleo de linhaça + 2,5% óleo de canola apresentaram coloração mais clara quando comparadas com gemas dos ovos das aves alimentadas com ração contendo 2,5% óleo de soja, 2,5% óleo de linhaça, 2,5% óleo de canola e ração sem suplementação de óleo.

Em ovos de codornas, tem sido comum a ocorrência de gemas *in natura* produzidas com pigmentação deficiente, com redução na coloração das gemas de ovos cozidos, a forma mais frequente de consumo. Ovos de codornas cozidos com gemas pouco pigmentadas são menos atrativos para o consumidor e uma solução possível é a inclusão de corantes lipossolúveis às rações, que aumentam a deposição de carotenóides e a coloração das gemas (Oliveira et al., 2007). Assim, a adição dos óleos de linhaça, de peixe ou de canola como fonte de ômega 3 na dieta das codornas além de melhorar a

pigmentação da gema dos ovos, como constatado neste estudo (Tabela 4), ainda pode promover o enriquecimento dos ovos com a incorporação de ômega 3, principalmente de alfa-linolênico (C18:3 n-3, AAL).

3.3. Concentração e tempo de incorporação dos ácidos graxos na gema

O tempo de incorporação influenciou significativamente o conteúdo de todos os ácidos graxos analisados (Tabela 5). O teor de ácidos graxos monoinsaturados e poli-insaturados e a relação poli-insaturados:monoinsaturados começaram a apresentar diferenças ($P < 0,05$) entre os tipos de óleo fonte de ômega 3 após o 6º dia experimental. A partir do 9º dia, as diferenças ficaram aparentes para os conteúdos de ácido linolênico, eicosapentaenoico e n-3 total e relação poli-insaturados:saturados. Já o ácido docosahexaenoico (DHA), foi mais tardio, pois expôs alteração de seu conteúdo conforme a fonte de ômega 3 somente depois do 15º dia experimental (Tabela 6).

Tabela 5. Valores de significância (P-Valor) dos ácidos graxos em ovos de codornas alimentadas com rações suplementadas com diferentes tipos de óleo como fonte de ômega 3

Ácidos graxos	Fontes de variação		
	Fontes de ômega 3 (F)	Tempo de Incorporação (T)	F x T
Saturados (SAT)	0,0065	<0,0001	0,6419
Monoinsaturados (MONO)	<0,0001	<0,0001	0,0309
Poli-insaturados (POLI)	<0,0001	0,0004	0,0006
Relação MONO:SAT	<0,0001	0,0031	0,0686
Relação POLI:SAT	<0,0001	0,0004	0,0006
Relação POLI:MONO	<0,0001	<0,0001	0,0007
Linoléico	<0,0001	0,0001	0,3409
Araquidônico	0,9971	0,0260	0,6269
Alfa-linolênico	<0,0001	<0,0001	0,0016
Eicosapentaenoico	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Docosahexaenoico	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Total n-6	<0,0001	<0,0001	0,3368
N-3 total	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Relação n-6/n-3	<0,0001	<0,0001	<0,0001

Foi detectada interação ($P < 0,05$) entre tempo de incorporação e fontes de ômega 3 (Tabela 5) para a grande maioria dos ácidos graxos analisados (monoinsaturados; poli-insaturados; relação poli-insaturado:saturado; relação poli-insaturado:monoinsaturado; ácido alfa-linolênico [C18:3 n-3, AAL]; eicosapentaenoico [EPA]; docosahexaenoico [DHA]; n-3 total; relação n-6/n-3), assim procedeu-se com o desdobramento a fim de

estabelecer o melhor ajuste do tempo de incorporação de cada ácido graxo na gema dos ovos conforme a fonte de ômega 3 utilizada na alimentação das codornas (Tabela 6).

Tabela 6. Desdobramento da interação entre tempo de incorporação e fontes de ômega 3 sobre o perfil de ácidos graxos na gema de ovos de codornas (% total de ácidos graxos)

Tempo	Óleo de Soja	Óleo de Linhaça	Óleo de Peixe	Óleo de Canola	Tempo	Óleo de Soja	Óleo de Linhaça	Óleo de Peixe	Óleo de Canola
MONOINSATURADOS (%)					ALFA-LINOLÊNICO (%)				
0	40,89 ^a	39,56 ^a	37,52 ^a	39,01 ^a	0	0,00 ^a	0,00 ^a	0,00 ^a	0,00 ^a
3	37,31 ^a	36,38 ^a	37,95 ^a	38,39 ^a	3	1,57 ^a	2,10 ^a	0,00 ^a	0,00 ^a
6	33,81 ^{ab}	36,99 ^{ab}	33,38 ^b	38,09 ^a	6	0,00 ^a	2,22 ^a	2,58 ^a	0,00 ^a
9	34,37 ^a	35,21 ^a	34,12 ^a	37,04 ^a	9	0,00 ^b	3,63 ^a	0,00 ^b	1,51 ^{ab}
12	32,72 ^a	35,21 ^a	32,88 ^a	37,03 ^a	12	2,01 ^a	3,76 ^a	1,44 ^a	1,55 ^a
15	34,16 ^b	33,27 ^b	34,56 ^b	40,15 ^a	15	0,00 ^a	2,91 ^a	2,79 ^a	0,00 ^a
21	34,69 ^a	35,13 ^a	34,36 ^a	38,12 ^a	21	0,00 ^b	4,52 ^a	0,67 ^b	1,43 ^{ab}
45	39,72 ^a	41,53 ^a	40,50 ^a	45,05 ^a	45	0,00 ^b	2,29 ^a	0,08 ^b	0,16 ^b
POLI-INSATURADOS (%)					EICOSAPENTAENOICO (%)				
0	16,21 ^a	16,01 ^a	18,49 ^a	17,75 ^a	0	0,00 ^a	0,00 ^a	0,00 ^a	0,00 ^a
3	23,80 ^a	20,75 ^a	20,86 ^a	19,35 ^a	3	0,00 ^a	0,00 ^a	0,00 ^a	0,00 ^a
6	25,99 ^a	21,14 ^{ab}	25,35 ^{ab}	19,56 ^b	6	0,00 ^a	0,00 ^a	0,00 ^a	0,00 ^a
9	19,89 ^{bc}	26,07 ^a	23,64 ^{ab}	19,60 ^c	9	0,00 ^b	3,96 ^a	0,00 ^b	0,00 ^b
12	25,65 ^a	27,92 ^a	23,47 ^a	23,66 ^a	12	0,00 ^b	4,99 ^a	0,00 ^b	1,77 ^b
15	24,17 ^{ab}	26,62 ^a	22,61 ^{ab}	20,20 ^b	15	0,00 ^b	2,12 ^a	0,00 ^b	0,00 ^b
21	20,84 ^b	27,01 ^a	23,32 ^{ab}	22,67 ^{ab}	21	0,00 ^a	2,75 ^a	0,73 ^a	2,02 ^a
45	19,38 ^a	19,69 ^a	16,97 ^a	14,95 ^a	45	0,00 ^a	0,64 ^a	0,00 ^a	0,00 ^a
RELAÇÃO POLI-INSATURADOS:SATURADOS					DOCOSAHEXAENOICO (%)				
0	0,44 ^a	0,44 ^a	0,51 ^a	0,50 ^a	0	0,00 ^a	0,00 ^a	0,00 ^a	0,00 ^a
3	0,67 ^a	0,60 ^a	0,56 ^a	0,54 ^a	3	0,00 ^a	0,00 ^a	0,00 ^a	0,00 ^a
6	0,74 ^a	0,64 ^a	0,74 ^a	0,58 ^a	6	0,00 ^a	0,00 ^a	0,30 ^a	0,00 ^a
9	0,53 ^c	0,80 ^a	0,69 ^{ab}	0,58 ^{bc}	9	0,00 ^a	0,00 ^a	0,34 ^a	0,00 ^a
12	0,77 ^a	0,85 ^a	0,69 ^a	0,68 ^a	12	0,00 ^a	0,00 ^a	0,00 ^a	0,00 ^a
15	0,67 ^{ab}	0,78 ^a	0,61 ^b	0,57 ^b	15	0,00 ^b	1,81 ^a	0,00 ^b	0,00 ^b
21	0,60 ^b	0,81 ^a	0,66 ^{ab}	0,65 ^{ab}	21	0,00 ^a	0,00 ^a	0,00 ^a	0,00 ^a
45	0,50 ^a	0,52 ^a	0,43 ^a	0,41 ^a	45	0,64 ^a	1,63 ^a	1,23 ^a	0,82 ^a
RELAÇÃO POLI-INSATURADOS:MONOINSATURADOS					N-3 TOTAL (%)				
0	0,40 ^a	0,41 ^a	0,50 ^a	0,46 ^a	0	0,00 ^a	0,00 ^a	0,00 ^a	0,00 ^a
3	0,64 ^a	0,57 ^a	0,55 ^a	0,50 ^a	3	1,57 ^a	2,10 ^a	0,00 ^a	0,00 ^a
6	0,77 ^a	0,57 ^b	0,77 ^a	0,52 ^b	6	0,00 ^a	2,22 ^a	2,87 ^a	0,00 ^a
9	0,58 ^{bc}	0,74 ^a	0,69 ^{ab}	0,53 ^c	9	0,00 ^b	7,59 ^a	0,34 ^b	1,51 ^b
12	0,80 ^a	0,79 ^a	0,71 ^a	0,65 ^a	12	2,01 ^b	8,76 ^a	1,44 ^b	3,32 ^b
15	0,71 ^a	0,81 ^a	0,65 ^{ab}	0,50 ^b	15	0,00 ^b	6,83 ^a	2,78 ^b	0,00 ^b
21	0,60 ^{ab}	0,77 ^a	0,68 ^{ab}	0,59 ^b	21	0,00 ^b	7,28 ^a	1,40 ^{ab}	3,45 ^{ab}
45	0,49 ^a	0,48 ^a	0,42 ^a	0,33 ^a	45	0,64 ^b	4,55 ^a	1,31 ^b	0,98 ^b

^{a-c} Médias com letras distintas nas linhas indicam diferenças significativas (P<0,05) pelo teste de Tukey.

Não foi observada interação ($P>0,05$) entre tempo de incorporação e fonte de ômega 3 para os demais ácidos graxos avaliados (saturados e sua relação com monoinsaturados, total n-6, ácido linoléico [C18:2 n-6, AL] e ácido araquidônico [C20:4 n-6, AA]). Isoladamente, tanto o tempo de incorporação quanto a fonte de ômega 3 influenciaram ($P<0,05$) o conteúdo de todos esses ácidos graxos, exceto o AA que foi afetado apenas pelo tempo de incorporação (Tabela 7, Figura 1).

Notou-se que a inclusão de óleo de linhaça, como fonte de ômega 3, na ração das codornas promoveu a segunda maior relação monoinsaturados:saturados e menores teores de ácidos saturados, total n-6 e AL nos ovos, sendo o conteúdo destes ácidos graxos estatisticamente semelhantes ao tratamento com óleo de canola.

Já o tempo médio para incorporação na gema dos ácidos graxos saturados e sua relação com monoinsaturados, total n-6 e AL foi de 18 dias de alimentação das codornas com rações adicionadas com as fontes de ômega 3.

Tabela 7. Teor de ácidos graxos saturados e sua relação com monoinsaturados (MONO:SAT), total n-6 e ácido linoléico (% total de ácidos graxos) em gemas de ovos de codornas alimentadas com fontes de ômega 3

Fonte de ômega 3	Saturados	Relação MONO:SAT	Total n-6	Linoléico
Óleo de Soja	36,30 ^a	1,00 ^c	21,01 ^a	14,96 ^a
Óleo de Linhaça	34,76 ^b	1,07 ^b	17,99 ^b	12,51 ^b
Óleo de Peixe	36,12 ^a	1,00 ^c	20,34 ^a	14,68 ^a
Óleo de Canola	35,13 ^{ab}	1,11 ^a	18,26 ^b	12,14 ^b

^{a-c} Médias com letras distintas nas colunas indicam diferenças significativas ($P < 0,05$) pelo teste de Tukey.

Neste estudo com ovos de codornas foram necessários em média 18 dias de alimentação das aves com as rações suplementadas com as fontes de ômega 3 para que houvesse estabilização do teor da maioria dos ácidos graxos dos ovos, entretanto Pita et al. (2011) concluíram que a incorporação total dos ácidos graxos na gema de ovos de galinhas ocorre em um período máximo de dez dias. Contudo, é importante salientar que Pita et al. (2011) forneceram para galinhas rações suplementadas com maior conteúdo de óleo (3%), o que pode explicar a estabilização mais rápida dos teores dos ácidos graxos nos ovos das galinhas.

Pita et al. (2011) constataram que, a partir do 8º dia experimental, o teor de ácidos graxos saturados na gemas de ovos de galinhas alimentadas com rações suplementadas com 3% de óleos vegetais (soja, milho, canola ou linhaça) ou 3% de óleo de sardinha + atum ou 3% óleo de salmão se mantiveram nas mesmas concentrações até

o final do experimento (30º dia). Entretanto, para os teores de monoinsaturados e poli-insaturados na gema, não foi possível demonstrar o dia do início da estabilização. O conteúdo de monoinsaturados revelou maior valor no 2º dia experimental (46,31%) sendo significativamente semelhante ao teor encontrado no último dia experimental, 30º dia (46,16%). Já ao analisarem distintamente cada ácido graxo poli-insaturado, foi possível observar comportamento muito específico de cada um. A adição das fontes lipídicas na dieta das galinhas promoveu teores decrescentes de n-6 total e crescentes de n-3 total na gema conforme o passar dos dias, tornando-se, ambos, estáveis a partir do 8º dia experimental.

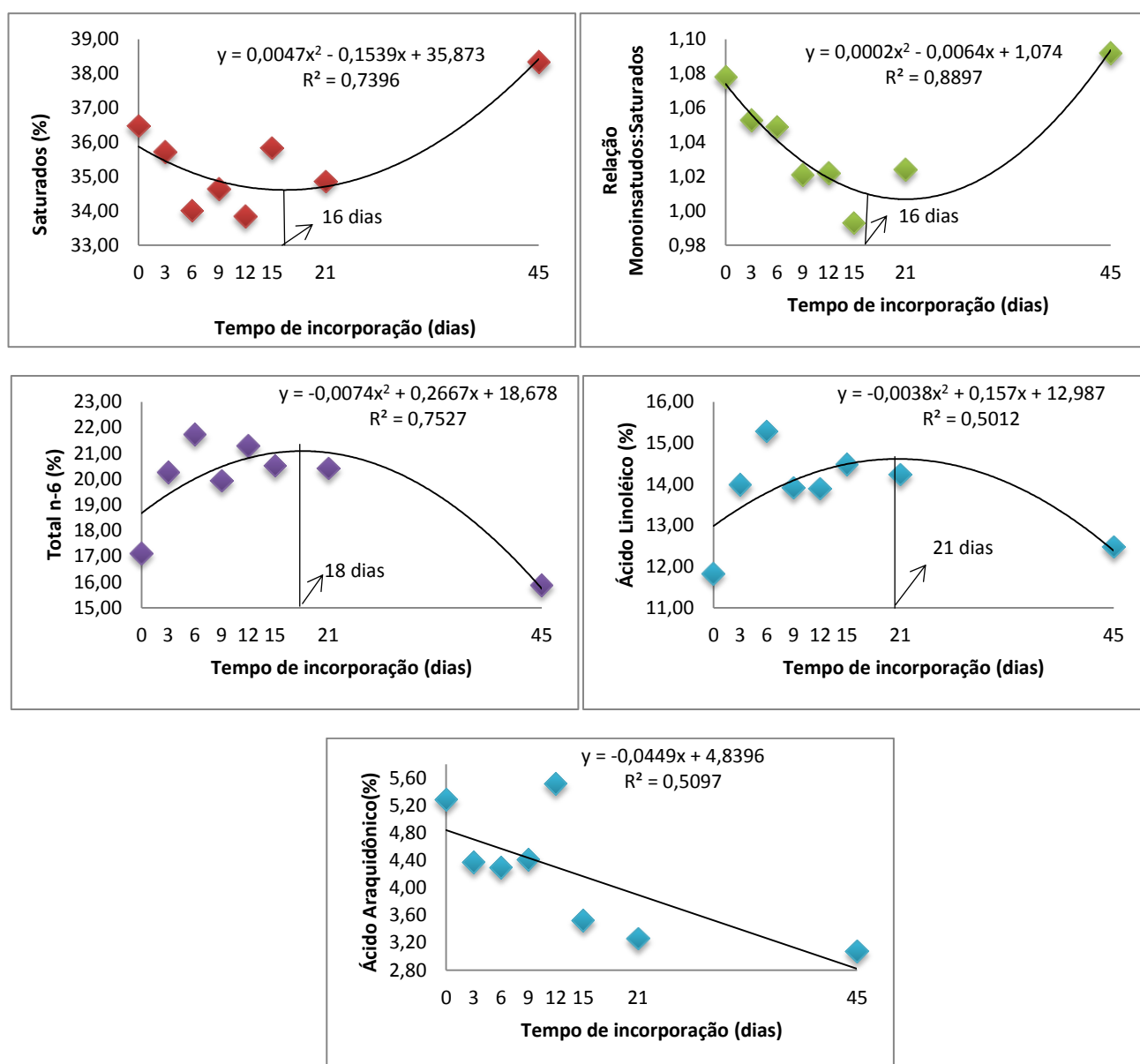


Figura 1. Tempo de incorporação de ácidos graxos saturados, relação monoinsaturados:saturados, total de ácidos graxos n-6, ácido linoléico e ácido araquidônico (% total de ácidos graxos) na gema de ovos de codornas alimentadas com rações suplementadas com fontes de ômega 3.

O conteúdo de n-6 total e n-3 total dos ovos apresentaram estabilização dos seus teores a partir da terceira semana de alimentação das codornas com rações com inclusão de óleos como fonte de ômega 3 (Tabela 6 e Figura 1). Estes resultados divergem de Hargis et al. (1991) que ao fornecerem ração suplementada com óleo de peixe para galinhas poedeiras observaram consolidação dos teores de n-6 total e n-3 total na gema dos ovos a partir da segunda e terceira semana experimental, respectivamente.

No trabalho de Pita (2007), a administração de fontes vegetais e marinha de ômega 3 na dieta de galinhas promoveu diminuição progressiva do teor de AL e AA dos ovos, sendo que os valores percentuais estabilizaram-se, respectivamente, a partir do 8º e 10º dia experimental. Os teores de AAL na gema dos ovos apresentaram aumento gradativo até o 10º dia experimental, mantendo-se, a partir deste dia, constantes até o final da experimentação (30º dia), enquanto a incorporação de EPA nos ovos iniciou-se no quarto dia elevando-se gradativamente até o oitavo, se mantendo estável até o final do experimento, o DHA, por sua vez, teve seus teores aumentados a partir do segundo dia, sendo sua concentração permanecendo crescente até o oitavo dia, quando se estabilizou.

Ao contrário do observado por Pita (2007), neste estudo o teor de AL apresentou valor máximo no 21º dia experimental, enquanto a incorporação de AAL e EPA nos ovos das codornas alimentadas com óleo de linhaça iniciou no terceiro e nono dia, respectivamente, elevando-se, ambos, até o 12º dia (Figura 1 e Tabela 6). Pelo fato do conteúdo de DHA ter aumentado e o teor de AA ter reduzido, ambos de forma linear, isso não permitiu estimar o período de estabilização do teor destes ácidos graxos nos ovos, isto sugere, portanto, que um maior tempo de alimentação das codornas com as fontes de ômega 3 na ração ainda promova maior conteúdo de DHA e menor de AA nos ovos (Tabela 6 e Figura 1).

A redução ($P < 0,05$) no teor de ácidos graxos saturados (Tabela 7) e o incremento de insaturados, especialmente de poli-insaturados da série ômega 3 (n-3 total, Tabela 6), detectados nas gemas dos ovos provenientes de codornas alimentadas com ração suplementada com óleo de linhaça são explicados pela alta composição em ácidos graxos insaturados e baixo conteúdo de saturados deste óleo em comparação ao demais óleos (Tabela 2) que, fornecido via dieta das aves, alterou diretamente o perfil lipídico dos ovos.

Semelhante constatação foi feita por Souza et al. (2008), em que alterações significativas no perfil de ácidos graxos de ovos de galinhas alimentadas com dietas tendo o óleo de linhaça como substitutivo do óleo de soja até o nível de 2% na ração. Os tratamentos com nível de substituição de 75 e 100% (1,5 e 2,0% óleo de linhaça) quando comparados ao tratamento controle (sem óleo) promoveram menor conteúdo de ácidos graxos saturados, sendo que o tratamento com 2% óleo de linhaça promoveu máxima redução, o que, conseqüentemente, influenciou benéficamente a quantidade dos insaturados dos ovos. Os autores evidenciaram que a adição de óleo de linhaça à dieta das galinhas aumentou a quantidade de ácidos graxos poli-insaturados quando comparados ao tratamento controle, e que a relação insaturados:saturados foi aumentada significativamente quando confrontou-se a dieta contendo 2% óleo de linhaça com a dieta controle (sem adição de óleo). De tal modo, Souza et al. (2008) destacaram que a melhora na relação desses dois componentes na gema ressalta ainda mais as qualidades nutricionais dos ovos para a nutrição e saúde humana.

Pita et al. (2011) também constataram maior redução de saturados em gemas de ovos de galinhas poedeiras alimentadas com rações contendo óleo de linhaça, o que conseqüentemente influenciou a quantidade dos ácidos graxos insaturados, o que é desejável, do ponto de vista nutricional, a ingestão destes em substituição aos saturados.

Apesar da análise de variância ter indicado haver diferenças significativas entre os tratamentos para o conteúdo de monoinsaturados dos ovos no 45º dia de alimentação das aves, o teste *Tukey*, ao nível 5% de significância, não detectou tais diferenças, porém maior teor destes ácidos graxos nos ovos foi promovido pela alimentação das codornas com óleo de canola, o que pode ser atribuído ao maior teor (66,56%) destes ácidos nesta fonte em comparação com os demais tipos de óleo (26,96; 25,04 e 19,47% nos óleo de peixe, de soja e de linhaça, respectivamente). Este resultado é análogo ao observado por Pita et al. (2011) que forneceram para galinhas rações com 3% de óleos fontes de ômega 3 e detectaram teor significativamente maior de monoinsaturados nos ovos produzidos por aves que receberam ração suplementada com óleo de canola (49,63%) seguido dos tratamentos com óleo de linhaça, de salmão e de sardinha + atum (45,48; 45,69; 45,63%) que foram semelhantes estatisticamente, e por último, os óleos de soja e de milho que promoveram teores equivalentes desse ácido graxo (43,78 e 44,47%).

Oliveira et al. (2010b) verificaram que as galinhas que receberam a dieta controle (isenta de óleo) produziram ovos com porcentagens mais elevadas de ácidos

graxos saturados e monoinsaturados e valores mais baixos de poli-insaturados do que as gemas de ovos de galinhas alimentadas com dietas contendo 3,4% óleo de soja, de linhaça ou de girassol. Os autores salientaram que houve diminuição de aproximadamente 10% na quantidade de ácidos graxos saturados totais nas gemas de ovos de galinhas poedeiras alimentadas com óleo de linhaça e aproximadamente 5% com as dietas contendo óleo de soja e de girassol.

Em consequência do maior teor de monoinsaturados, maior razão monoinsaturados:saturados (MONO:SAT) foi detectada na gema de ovos de codornas que receberam ração com 2% óleo de canola (Tabela 7), ao contrário disto, Faitarone (2010) verificou maior razão MONO:SAT em gemas dos ovos provenientes de galinhas alimentadas com rações sem suplementação de óleo quando comparadas às gemas dos demais tratamentos com 2,5 ou 5,0% óleo de soja, de canola ou de linhaça e suas combinações, no entanto, as gemas dos ovos de aves que receberam ração suplementada com 2,5% óleo de canola apresentaram razão com valor intermediário sendo semelhante aos outros tratamentos.

Entre as fontes de ômega 3 utilizadas nesta pesquisa para compor as dietas das codornas, a que promoveu maior incorporação nos ovos de n-3 total, AAL, EPA e DHA foi o óleo de linhaça (Figura 2), como também verificado por Pita et al. (2010) com galinhas alimentadas com rações com inclusão de 3% de óleo de soja, de milho, de canola, de linhaça, de salmão ou de sardinha + atum, maior teor de n-3 total e AAL foi detectado em ovos oriundos de galinhas tratadas com ração contendo óleo de linhaça, entretanto, o óleo de salmão e de sardinha + atum geraram maiores teores de EPA e DHA nos ovos em comparação com os demais óleos.

Os níveis de EPA e DHA encontrados nas gemas de ovos das codornas que receberam a dieta contendo óleo de linhaça (Tabela 6, Figura 2) são muito benéficos para a saúde humana; uma vez que, segundo Martin et al. (2006), esses AGPI cumprem várias funções fisiológicas importantes, principalmente no desenvolvimento do cérebro e da retina, nos recém-nascidos, bem como na prevenção de doenças cardiovasculares e câncer.

Silva et al. (2009) forneceram para codornas japonesas rações com 1,5; 3,0 e 5,0% de semente de linhaça e também detectaram nos ovos maior conteúdo de n-3 total na gema (1,51; 2,36 e 3,07%, respectivamente) em comparação as que receberam a dieta controle (0% de semente de linhaça; 0,71%). O aumento de n-3 total foi atribuído, pelos autores, aos maiores teores de AAL, DHA e DPA nos ovos produzidos por

codornas que receberam semente de linhaça, o teor de AAL passou de 0,25% nos ovos das aves alimentadas com a ração controle para 1,93% nos ovos provenientes de codornas alimentadas com 5% semente de linhaça, o de DHA de 0,37 para 0,93% e o de DPA de 0,08 para 0,20%.

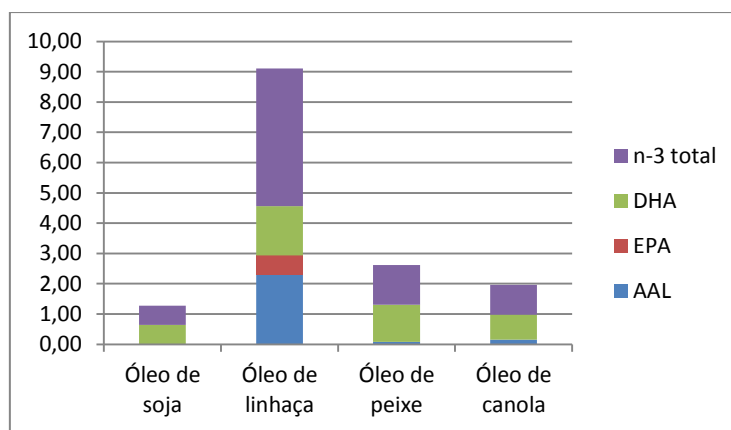


Figura 2. Teor (% do total de ácidos graxos) no 45º dia experimental de ácido alfa-linolênico (AAL) e seus derivados de cadeia longa, eicosapentaenoico (EPA) e docosahexaenoico (DHA), e n-3 total na gema de ovos de codornas alimentadas com rações suplementadas com fontes de ômega 3.

Oliveira et al. (2010b) destacaram que as gemas de ovos de galinhas poedeiras alimentadas com ração com 3,4% óleo de linhaça, o qual é rico em AAL, mostrou valores significativamente mais elevados de todos os ácidos graxos da série n-3 (AAL, EPA, DPA [22:5 n-3, ácido docosapentaenoico] e DHA) em relação a ração controle (isenta de óleo) e as rações incluídas dos demais óleos vegetais (soja ou girassol), e ainda salientaram que o EPA foi detectado apenas em ovos produzidos por galinhas alimentadas com a dieta contendo óleo de linhaça.

Menores teores de AL, AA e n-6 total foram observados em ovos de codornas alimentadas com rações suplementadas com óleo de linhaça e de canola (Figura 3), no entanto, a adição de óleo de linhaça à dieta das aves promoveu, ao término do período experimental (45º dia), incorporação na gema 7,1; 3,5 e 4,6 vezes maior de n-3 em comparação ao fornecimento de óleo de soja, de peixe e de canola, respectivamente, demonstrado pelo maior teor de AAL, EPA e DHA, apesar de não ter sido constatado valor significativo ($P>0,05$) para o EPA (Tabela 6).

Foi verificado por Oliveira et al. (2010b), que rações com inclusão de 3,4% óleo de soja ou de linhaça promoveram alta quantidade de AGPI em ovos de galinhas poedeiras em comparação com os ovos produzidos por galinhas alimentadas com a

ração controle (isenta de óleo) e a suplementada com 3,4% óleo de girassol. No entanto, os ovos provenientes do tratamento com óleo de soja apresentaram maior quantidade de ácidos graxos n-6, enquanto que os ovos das galinhas que receberam ração contendo óleo de linhaça exibiram maior porcentagem de n-3.

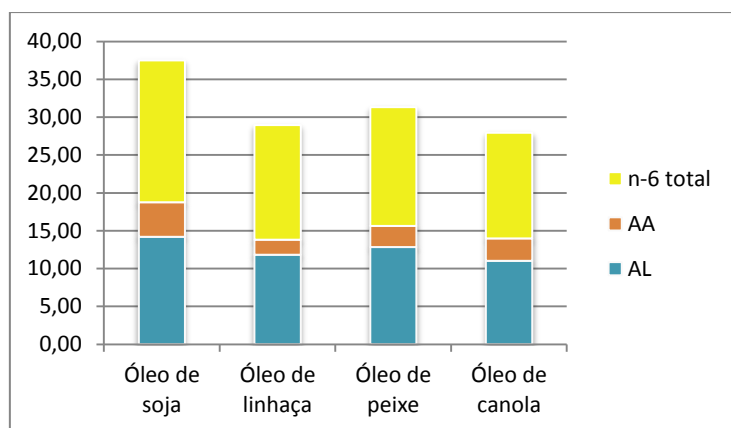


Figura 3. Teor (% do total de ácidos graxos) no 45º dia experimental de ácido linoleico (AL) e seu derivado de cadeia longa, araquidônico (AA), e total n-6 na gema de ovos de codornas alimentadas com rações suplementadas com fontes de ômega 3.

Çitil et al. (2011) ao alimentarem codornas japonesas com rações sem suplementação e com 1, 2 ou 3% de óleo de linhaça constataram redução no teor de ácidos graxos saturados e sua relação com poli-insaturados nos ovos. Os autores verificaram maior incorporação de n-3 nos ovos oriundos de codornas alimentadas com óleo de linhaça, sendo significativamente maiores os teores de AAL e seus derivados de cadeia longa, EPA e DHA, enquanto as quantidades de AL e AA reduziram promovendo menor relação n-6/n-3 nos ovos.

Goyens et al. (2006) ao examinarem se tanto a ingestão de AAL ou AL quanto sua relação influencia o metabolismo de AAL em seres humanos, demonstraram que a conversão do AAL para os seus derivados de cadeia mais longa e mais insaturada não é determinado pela relação AAL:AL, nem pelas quantidades de AAL ou AL na dieta. A diminuição da ingestão de AL aumentou a porção do AAL dietético convertido em EPA, por outro lado, o aumento da ingestão de AAL aumentou a quantidade absoluta de DHA sintetizado. Desta forma, os resultados da presente pesquisa bem como os estudos de Silva et al. (2009) e Çitil et al. (2011) estão de acordo com o de Goyens et al. (2006), em que o aumento da quantidade de AAL ingerida afeta seu produto metabólico, DHA.

Silva et al. (2009) ainda salientaram que o aumento no teor de DHA nos ovos, como resultado da adição de semente de linhaça à dieta das codornas, considerando a

ausência deste ácido graxo na linhaça, indica que deve haver um eficiente mecanismo de dessaturação e alongamento da cadeia de AAL inicialmente presente na linhaça, conforme observado também na presente pesquisa, incorporação de DHA na gema de ovos produzidos por codornas alimentadas com 2% óleo de linhaça (Tabela 6).

Apesar da presente pesquisa não ter detectado diferença ($P>0,05$) para o teor de AA nos ovos com a adição de fontes de ômega 3 na ração das codornas, menor conteúdo de AL, AA e n-6 total foi verificado em ovos de codornas alimentadas com ração contendo óleo de linhaça (Tabela 7 e Figura 3). Çitil et al. (2011) também observaram que a suplementação de óleo de linhaça em rações para codornas promove redução no conteúdo de AL e AA. Do mesmo modo, Milinsk et al. (2003) não constataram aumento do teor de AA em ovos de galinhas alimentadas com rações ricas em n-3 através da suplementação com farelo + óleo de canola, de linhaça, de soja ou de girassol.

Silva et al. (2009) e Çitil et al. (2011) verificaram correlação entre n-3 e AA em suas pesquisas, uma vez que foi observada diminuição significativa de AA na gema de ovos de codornas alimentadas com semente e óleo de linhaça, respectivamente. Estas diferenças podem ser atribuídas a competição entre as duas famílias de ácidos graxos (n-3 e n-6) pela enzima delta 6 dessaturase envolvida no processo de dessaturação. Esta enzima tem uma grande afinidade pelos ácidos n-3 e necessita de uma menor quantidade destes ácidos dos que da série n-6 para gerar a mesma quantidade de produto (Hussein et al., 2005).

A redução de forma quadrática no teor de AL (Figura 1), que exibiu valor máximo aos 21 dias de alimentação das codornas com ômega 3, pode ter contribuído para o teor de AA ter permanecido inalterado, uma vez que o aporte mínimo de AL necessário para a metabolização de um de seus derivados de cadeia longa, o AA, pode não ter sido atingido. Com relação aos tipos de óleos, a utilização de óleo de linhaça e de canola promoveram ($P<0,05$) menor conteúdo de AL nos ovos (Tabela 7), o que pode ter restringido o processo metabólico de alongação e dessaturação do AL em outros ácidos n-6, entre eles, os ácidos γ -linolênico, dihomo- γ -linolênico, eicosadienoico, docosadienoico e docosapentaenoico, além do AA.

A relação n-6/n-3 dos ovos de codorna foi alterada pela suplementação dos óleos na dieta (Tabela 8). No 45º dia experimental, a razão proporcionada pela inclusão de óleo de linhaça (3,31) é mais próxima da indicação de consumo para adequado equilíbrio entre o aporte desses AGPI em comparação com o fornecimento de óleo de

soja, de peixe e de canola (20,16; 9,07 e 10,37, respectivamente). Embora ainda não sejam precisamente estabelecidas as taxas mínimas de consumo de AGPI n-3 e n-6 para atenderem as exigências humanas destes nutrientes, Martin et al. (2006) mostraram resultados de pesquisas que demonstram convergência da razão entre AGPI n-6 e n-3 para o intervalo de 4 a 5:1, contudo as razões entre 2 e 4:1 têm maior importância para pessoas com hábitos alimentares que resultam em baixa ingestão de EPA e DHA, por outro lado, dietas baseadas em razões n-6/n-3 inferiores a 1:1 não são recomendadas, por inibirem a transformação do AL em AGPI de cadeia longa.

Tabela 8. Desdobramento da interação entre tempo de incorporação e fontes de ômega 3 para a relação n-6/n-3 na gema de ovos de codornas

Tempo de incorporação (dias)	Óleo de Soja	Óleo de Linhaça	Óleo de Peixe	Óleo de Canola
0	0,00 ^a	0,00 ^a	0,00 ^a	0,00 ^a
3	7,60 ^a	7,80 ^a	0,00 ^b	0,00 ^b
6	0,00 ^b	9,02 ^a	3,90 ^a	0,00 ^b
9	0,00 ^b	3,87 ^a	16,70 ^a	6,32 ^a
12	4,77 ^a	2,29 ^a	8,58 ^a	4,90 ^a
15	0,00 ^b	2,97 ^a	2,11 ^a	0,00 ^b
21	0,00 ^b	3,91 ^a	7,16 ^a	2,62 ^a
45	20,16 ^a	3,31 ^c	9,07 ^b	10,37 ^b

^{a-c} Médias com letras distintas nas linhas indicam diferenças significativas (P < 0,05) pelo teste de Tukey.

A alimentação das codornas com ração contendo óleo de soja promoveu menor conteúdo de n-3 nas gemas (0,64%) em comparação com a adição de óleo de peixe (1,31%), de forma distinta, Güçlü et al. (2008) que forneceram à codornas japonesas ração incluída de 4% de óleo de girassol, de gergelim, de algodão, de oliva, de avelã, de soja, de milho ou de peixe durante dez semanas, observaram que os óleos de peixe e de soja promoveram maior incorporação de n-3 nas gemas (1,33 e 1,85%, respectivamente).

No entanto, assim como demonstrado nesta pesquisa em que a inclusão de óleo de soja originou nos ovos razão n-6/n-3 maior (P<0,05) em comparação com a adição dos óleos de peixe e de canola (Tabela 8), no trabalho de Güçlü et al. (2008), foi possível calcular e constatar, a partir da soma de n-3 total e n-6 total apresentada pelos autores, que a relação n-6/n-3 dos ovos das codornas alimentadas com 4% óleo de soja (9,91) também foi maior e mais distante da recomendação para o consumo humano (3 a

5:1) comparado com a relação promovida nos ovos das codornas que receberam ração contendo 4% óleo de peixe (5,76).

Os elevados níveis de n-3 nas gemas de ovos de galinhas poedeiras alimentadas com uma dieta com 3,4% óleo de linhaça resultou em uma melhor razão n-6/n-3 (Oliveira et al., 2010b). Esta relação deve ser o menor possível, e valores inferiores a 4:1 são adequados no que diz respeito aos benefícios para a saúde humana (Simopoulos, 2006).

Menor relação n-6/n-3 em ovos oriundos de aves alimentadas com ração adicionadas de óleo de linhaça, também foi observada por Faitarone (2010) em que a suplementação com este óleo (2,5 ou 5%) na dieta de galinhas promoveu decréscimo acentuado na relação n-6/n-3 da gema, fato atribuído à alta concentração de AGPI n-3 do óleo de linhaça e que foi incorporada aos ovos. Pita et al. (2011) também detectaram menor razão n-6/n-3 (1,55) em ovos de galinhas alimentadas com ração com inclusão de 3% óleo de linhaça em comparação com as suplementadas com óleo de milho, de salmão, de sardinha + atum, de soja e de canola (16,93; 3,11; 2,45; 10,36 e 6,48; respectivamente).

Citil et al. (2011) também verificaram diminuição na razão n-6/n-3 em ovos de codornas japonesas alimentadas com três níveis de óleo de linhaça (1,0; 2,0 e 3,0%) comparadas ao grupo de aves que receberam a dieta controle (isento de óleo de linhaça). O fornecimento desta dieta provocou relação n-6/n-3 de 20,60; já os demais tratamentos (1,0; 2,0 e 3,0%) apresentaram relações de 11,25; 8,25 e 5,74. Isso demonstra que a utilização de óleo de linhaça na alimentação das aves além de promover o enriquecimento dos ovos com n-3, torna-os uma fonte alimentícia alternativa para equilibrar o consumo desses ácidos graxos essenciais.

Dentre os tipos de óleos fontes de ômega 3 utilizados na alimentação das codornas, avaliados nesta pesquisa, o óleo de linhaça promoveu maior enriquecimento dos ovos com ômega 3, especialmente com AAL, e este por ser um bom precursor de EPA e DHA, também foram incorporados aos ovos.

Entretanto, os ovos produzidos nesta pesquisa oriundos da alimentação de codornas com rações contendo 2% óleo de linhaça, 2% óleo de peixe ou 2% óleo de canola podem ser considerados fonte de ácidos graxos ômega 3, pois de acordo com a Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) Nº 54/2012, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), que regulamenta sobre os critérios utilizados nos rótulos de alimentos que possuem alegações de propriedade funcional e, ou de saúde,

um alimento para ser considerado fonte de ômega 3 precisa apresentar conteúdo mínimo de 40 mg da soma de EPA e DHA por porção. Considerando uma porção de ovos de codornas correspondente a cinco unidades (RDC Nº 359/2003 da ANVISA), os respectivos tratamentos promovem teor de EPA + DHA de 123,60; 66,95 e 44,65 mg por porção.

4. CONCLUSÃO

A inclusão de fontes de ômega 3 na ração de codornas japonesas em postura não prejudica o desempenho zootécnico nem tampouco a qualidade dos ovos, sendo intensificada a coloração amarela da gema com a utilização dos óleos de linhaça, de peixe ou de canola, contudo a utilização de óleo de linhaça promove maior enriquecimento dos ovos com ômega 3 e ainda reduzida razão n-6/n-3 na gema. O tempo médio de incorporação de ácidos graxos na gema é de 21 dias de alimentação com rações contendo as fontes de ômega 3.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AL-DARAJI, H.J.; AL-MASHADANI, H.A.; AL-HAYANI, W.K.; MIRZA, H.A.; AL-HASSANI, A.S. Effect of dietary supplementation with different oils on productive and reproductive performance of quail. **International Journal of Poultry Science**, v. 9, n. 5, p. 429-435, 2010.

BALVANE, D. Essential fatty acid in poultry nutrition. **World's Poultry Science**, v. 26, p. 442-460, 1970.

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

BOURRE, J.-M. Omega-3, animal feeding, nutritional value, and derived products where to find omega-3 fatty acids and how feeding animals with diet enriched in omega-3 fatty acids to increase nutritional value of derived products for human: what is actually useful? **The Journal of Nutrition, Health & Aging**, v. 9, n. 4, p. 232-242, 2005.

BRASIL. ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 54/2012, de 12 de novembro de 2012 – Dispõe sobre o Regulamento Técnico sobre Informação Nutricional Complementar. Disponível em: <http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/630a98804d7065b981f1e1c116238c3b/Resolucao+RDC+n.+54_2012.pdf?MOD=AJPERES> Acesso em: 16 abr 2013.

BRASIL. ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 359/2003, de 23 de dezembro de 2003 – Aprova Regulamento Técnico de Porções de Alimentos Embalados para Fins de Rotulagem Nutricional. Disponível em: <http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/d12c9e804745947f9bf0df3fbc4c6735/RDC_359.pdf?MOD=AJPERES> Acesso em: 03 abr 2012.

CEDRO, T.M.M. **Níveis de ácidos graxos e qualidade de ovos comerciais convencionais e enriquecidos com ômega-3**. 2008. 75 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2008.

ÇİTİL, O.B.; YILDIRIM, I.; PARLAT, S.S. The effects of dietary flaxseed oil supplementations on fatty acids composition of the yolks in quail (*Coturnix coturnix japonica*) eggs. **Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi**, v. 17, n. 5, p. 761-766, 2011. Disponível em: <http://vetdergi.kafkas.edu.tr/extdocs/2011_5/761-766.pdf> Acesso em 12 abr. 2012.

COSTA, F.G.P.; SOUZA, C.J.; GOULART, C.C.; LIMA NETO, R.C.; COSTA, J.S.; PEREIRA, W.E. Desempenho e qualidade dos ovos de poedeiras semipesadas alimentadas com dietas contendo óleos de soja e canola. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, n. 8, p. 1412-1418, 2008b.

COSTA, F.G.P.; SOUZA, J.G.; SILVA, J.H.V.; RABELLO, C.B.; GOULART, C.C.; LIMA NETO, R.C. Influência do óleo de linhaça sobre o desempenho e a qualidade dos ovos de poedeiras semipesadas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, n. 5, p. 861-868, 2008a.

DUARTE, D.R.S. **Alimentos funcionais com microalgas: nova fonte de pigmentos, antioxidantes e ácidos gordos ômega 3**. 2010. 101 f. Dissertação (Mestrado Biologia Humana e Ambiente) – Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa, 2010.

FAITARONE, A.B.G. **Fornecimento de fontes lipídicas na dieta de poedeiras e seus efeitos sobre o desempenho, qualidade dos ovos, perfil de ácidos graxos e colesterol na gema**. 2010. 108 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.

GOYENS, P.L.L.; SPILKER, M.E.; ZOCK, P.L.; KATAN, M.B.; MENSINK, R.P. Conversion of alpha-linolenic acid in humans is influenced by the absolute amounts of alpha-linolenic acid and linoleic acid in the diet and not by their ratio. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 84, n. 1, p. 44-53, 2006.

GÜÇLÜ, B.K.; UYANIK, F.; İŞCAN, K.M. Effects of dietary oil sources on egg quality, fatty acid composition of eggs and blood lipids in laying quail. **South African Journal of Animal Science**, v.38, n.2, p.91-100, 2008.

HARGIS, P.S.; VAN ELSWYK, M.E.; HARGIS, B.M. Dietary modification of yolk lipid with menhaden oil. **Poultry Science**, v. 70, n. 4, p. 874-883, 1991.

HARTMAN, L.; LAGO, R.C.A. Rapid preparation of fatty acids methyl esters from lipids. **Laboratory Practice**, London, v. 22, p. 475-476, 1973.

HUSSEIN, N.; AH-SING, E.; WILKINSON, P.; LEACH, C.; GRIFFIN, B.A.; MILLWARD, D.J. Long-chain conversion of [13C] linoleic acid and α -linolenic acid in response to marked changes in their dietary intake in men. **Journal of Lipid Research**, v. 46, n. 2, p. 269-280, 2005.

JENSEN, L.S.; SHUTZE, J.V. Essential fatty acids deficiency in the laying hen. **Poultry Science**, v. 42, p. 1014-1019, 1963.

LELIS, G.R.; SILVA, M.D.; TEVERNARI, F.C.; ALBINO, L.F.T.; ROSTAGNO, H.S. Performance of layers fed diets containing different oils. **Brazilian Journal of Poultry Science**, v. 11, n. 4, p. 235-240, 2009.

MARTIN, C.A.; ALMEIDA, V.V.; RUIZ, M.R.; VISENTAINER, J.E.L.; MATSUSHITA, M.; SOUZA, N.E.; VISENTAINER, J.V. Ácidos graxos poliinsaturados ômega-3 e ômega-6: importância e ocorrência em alimentos. **Revista de Nutrição de Campinas**, v. 19, p. 761-770, 2006.

MILINSK, M.C.; MURAKAMI, A.E.; GOMES, S.T.E.; MATSUSHITA, M.; SOUZA, N.E. Fatty acid profile of egg yolk lipids from hens fed diets rich in n-3 fatty acids. **Food Chemistry**, v. 83, n. 2, p. 287-292, 2003.

MOLENDI-COSTE, O.; LEGRY, V.; LECLERCQ, I.A. Why and how meet n-3 PUFA Dietary Recommendations? **Gastroenterology Research and Practice**, v. 2011, Article ID 364040, 11

p., 2011. doi:10.1155/2011/364040. Disponível em:
<<http://www.hindawi.com/journals/grp/2011/364040/cta/>>. Acesso em: 30 jan. 2013.

MONTE, M.L.; CREXI, V.T.; PINTO, L.A.A. Avaliação do conteúdo total de carotenóides na etapa de branqueamento do óleo de carpa (*Cyprinus Carpio*). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA EM INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 8., 2009, Uberlândia, **Anais...** Uberlândia: UFU, 2009. Disponível em:
<<http://www.cobeqic2009.feq.ufu.br/uploads/media/88115091.pdf>>. Acesso em 21 nov. 2011.

MURAMATSU, K.; STRINGHINI, J.H.; CAFÉ, M.B.; JARDIM FILHO, R.M.; ANDRADE, L.; GODOI, F. Desempenho, qualidade e composição de ácidos graxos do ovo de poedeiras comerciais alimentadas com rações formuladas com milho ou milheto contendo diferentes níveis de óleo vegetal. **Acta Scientiarum**, v. 27, n. 1, p. 43-48, 2005.

OLIVEIRA, B.L. Manejo em granjas automatizadas de codornas de postura comercial. In: SIMPOSIO INTERNACIONAL, 3., CONGRESSO BRASILEIRO DE COTURNICULTURA, 2., 2007, Lavras. **Anais...** Lavras: UFLA/DZO, 2007. p. 11-16.

OLIVEIRA, D.D.; BAIÃO, N.C. ; CANÇADO, S.V.; FIGUEIREDO, T.C.; LARA, L.J.C.; LANA, A.M.Q. Fontes de lipídios na dieta de poedeiras: desempenho produtivo e qualidade dos ovos. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 62, n. 3, p. 718-724, 2010a.

OLIVEIRA, D.D.; BAIÃO, N.C.; CANÇADO, S.V.; GRIMALDI, R.; SOUZA, M.R.; LARA, L.J.C.; LANA, A.M.Q. Effects of lipid sources in the diet of laying hens on the fatty acid profiles of egg yolks. **Poultry Science**, v. 89, p. 2484-2490, 2010b.

OLIVEIRA, N.T.E.; FONSECA, J.B.; SOARES, R.T.R.N.; FERREIRA, K.S.; THIÉBAUT, J.T.L. Pigmentação de gemas de ovos de codornas japonesas alimentadas com rações contendo colorífico. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 5, p. 1525-1531, 2007.

PITA, M.C.G. **Fontes marinhas e vegetais de PUFA's na dieta de poedeiras: efeito na composição lipídica da gema do ovo e tempo de incorporação dos ácidos graxos**. 2007. 136 f. Tese (Doutorado em Medicina Veterinária) - Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

PITA, M.C.G.; CARVALHO, P.R.; NETO, E.P.; MENDONÇA JÚNIOR, C.X. Effect of marine and vegetal sources on the hen diets on the PUFA's and PUFA's n-3 in laying hens egg yolk and plasm. **International Journal of Poultry Science**, v. 9, n. 2, p. 148-151, 2010.

PITA, M.C.G.; CARVALHO, P.R.; PIBER NETO, E.; MENDONÇA JÚNIOR, C.X. Vegetable and marine sources of supplementaries PUFA's in the diet of laying hens: effect on lipid composition of the plasma and of the egg yolk and time of incorporation of omega 6 PUFA's. **Journal of Applied Sciences Research**, v. 7, n. 5, p. 654-671, 2011.

RIZZI, L.; BOCHICCHIO, D.; BARGELLINI, A.; PARAZZA, P.; SIMIOLI, M. Effects of dietary microalgae, other lipid sources, inorganic selenium and iodine on yolk n-3 fatty acid composition, selenium content and quality of eggs in laying hens. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 89, n. 10, p. 1775-1781, 2009.

ROLL, A.P.; AZAMBUJA, S.; BAVARESCO, C.; PIRES, P.G.; DIONELLO, N.J.; RUTZ, F. Dinâmica da qualidade de ovos durante a fase inicial reprodutiva de codornas selecionadas por peso corporal. In: ENCONTRO DE PÓS-GRADUAÇÃO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS, 13., 2011, Pelotas. **Anais...** Pelotas: UFPEL, 2011. Disponível em:
<http://www.ufpel.edu.br/enpos/2011/anais/pdf/CA/CA_00226.pdf>. Acesso em 20 fev. 2012.

ROSTAGNO, H.S.; ALBINO, L.F.T.; DONZELE, J.L.; GOMES, P.C.; OLIVEIRA, R.F.M.; LOPES, D.C.; FERREIRA, A.S.; BARRETO, S.L.T. **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Zootecnia, 2011. 252 p.

SANTOS, M.S.V.; ESPÍNDOLA, G.B.; LÔBO, R.N.B.; FUENTES, M.F.F.; CARVALHO, L.E.; SANTOS, A.B.E. Desempenho e qualidade dos ovos de poedeiras comerciais submetidas às dietas com diferentes óleos vegetais. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 10, n. 3, p. 654-667, 2009.

SEIBEL, N.F. Transformações bioquímicas durante o processamento do ovo: uma revisão. In: SOUZA-SOARES E SIEWERDT (Orgs). **Aves e Ovos**. Pelotas: Editora Universidade Federal de Pelotas, 2005. p. 77-90.

SILVA, W.A.; ELIAS, A.H.N.; ARICETTI, J.A.; SAKAMOTO, M.I.; MURAKAMI, A.E.; GOMES, S.T.M.; VISENTAINER, J.V.; SOUZA, N.E.; MATSUSHITA, M. Quail egg yolk (*Coturnix coturnix japonica*) enriched with omega-3 fatty acids. **Food Science and Technology**, v. 42, p. 660-663, 2009.

SIMOPOULOS, A.P. The omega-6/omega-3 ratio: the scientific evidence and the need to return the omega-3 fatty acids into eggs and other foods. In: J. Sim, and H. H. Sinwoo. **The amazing egg: nature's perfect functional food for health promotion**. Alberta: University of Alberta, 2006. p. 195-218.

SOUZA, J.G.; COSTA, F.G.P.; QUEIROGA, R.C.R.E.; SILVA, J.H.V.; SCHULER, A.R.P.; GOULART, C.C. Fatty acid profile of eggs of semi-heavy layers fed feeds containing linseed oil. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, v. 10, n. 1, p. 37-44, 2008.

WANG, Y.; SUNWOO, H.; CHERIAN, G.; SIM, J.S. Fatty acid determination in chicken egg yolk: a comparison of different methods. **Poultry Science**, v. 79, p. 1168-1171, 2000.

CAPÍTULO V

Qualidade de ovos de codornas alimentadas com rações suplementadas com fontes de ômega 3 submetidos à estocagem

RESUMO - Objetivou-se avaliar os efeitos do tempo (Experimento 1) e da condição de estocagem (Experimento 2) sobre a qualidade de ovos de codornas alimentadas com rações suplementadas com fontes de ômega 3. Adotou-se delineamento experimental inteiramente casualizado em esquema fatorial 4 x 2, sendo quatro tipos de óleo como fonte de ômega 3 (soja, linhaça, peixe e canola) e dois tempos de armazenamento (frescos [tempo zero] e estocados por 21 dias – Exp. 1) ou duas condições de estocagem por 21 dias (com e sem refrigeração – Exp. 2). Houve interação entre as fontes de ômega 3 e tempo de armazenamento apenas para pH do albúmen. Isoladamente, a estocagem dos ovos por 21 dias reduziu o peso específico e aumentou tanto o pH do albúmen quanto o pH da gema. Com relação à condição de estocagem, foi detectada interação com as fontes de ômega 3 apenas para pH do albúmen. O pH da gema foi alterado exclusivamente pelas fontes de ômega 3 e a perda de peso dos ovos por ambos os fatores (fontes de ômega 3 e condição de armazenamento). Já o peso específico não foi influenciado por nenhum desses fatores de variação. O tempo e a condição de estocagem prejudicam a qualidade de ovos de codornas, independente da fonte de ômega 3 adicionada à ração. A estocagem sob refrigeração promove melhor conservação da qualidade dos ovos.

Palavras-chave: Coturnix; perda de peso dos ovos; peso específico dos ovos; pH da gema; pH do albúmen

Quality of eggs from quail fed diets supplemented with different sources of omega-3 fatty acids subjected to storage

ABSTRACT – This study aimed to evaluate the effects of storage time (Experiment 1) and different storage conditions (Experiment 2) on egg quality of quails fed diets supplemented with sources of omega-3 fatty acids. It was used a randomized design in a factorial scheme 4 x 2, four types of oil as a source of omega-3 (soybean, linseed, fish and canola) and two storage times (fresh [time zero] and stored for 21 days – Exp. 1) or two storage conditions for 21 days (with and without refrigeration – Exp. 2). There was interaction between sources of omega-3 and storage time only for albumen pH. The storage of the eggs for 21 days reduced specific gravity, and increased both, albumen pH and yolk pH. With respect to storage conditions, was detected interaction with sources of omega-3 for albumen pH. The yolk pH was changed exclusively by sources of omega-3 and weight loss of eggs by both factors (sources of omega-3 and storage conditions). However, the specific gravity was not influenced by any of these variation factors. The storage time and storage conditions affect the quality of quail eggs, regardless of source of omega-3 added to the diet. The storage under refrigeration promotes better quality conservation of the eggs.

Keywords: Coturnix; weight loss of eggs; specific gravity of eggs, yolk pH, albumen pH

1. INTRODUÇÃO

Tem sido de interesse contínuo o papel dos ácidos graxos essenciais tais como o linoléico (C18:2 n-6) e α -linolênico (C18:3 n-3), seus derivados de cadeia longa e seus metabólitos, na saúde, no crescimento e no desenvolvimento de humanos e animais. Os ácidos graxos poli-insaturados (AGPI) da família ômega 3 (n-3) são fornecidos nas dietas através da inclusão de alimentos de origem marinha e óleos de linhaça e de canola (Hayat et al., 2010).

Entretanto, esses produtos não são comumente utilizados em dietas humanas, por isso, diferentes estratégias para produzir alimentos de origem animal com alta concentração desses ácidos graxos têm sido adotadas na última década. Segundo Hayat et al. (2010), entre os diferentes produtos de origem animal investigados para o enriquecimento de AGPI n-3, o ovo de galinha tem sido a forma mais relatada, realista e bem-sucedida para incorporar ômega 3 na dieta humana.

Contudo, o enriquecimento de ovos com n-3 promove maior grau de insaturação nos ácidos graxos da gema, levando a danos oxidativos dos lipídios e redução global na qualidade dos ovos. Este fenômeno é agravado durante o armazenamento, afetando aspectos organolépticos dos ovos (Ahn et al., 1995).

Estudos têm mostrado que a adição de AGPI n-3 na ração de aves poedeiras, influencia a qualidade interna dos ovos. Na literatura há relatos de redução no volume e peso da gema, em virtude destes lipídios promoverem a diminuição da concentração do estradiol plasmático necessário para a formação deste componente do ovo (Whitehead et al., 1993). Alguns autores associaram uma dieta rica em óleos à redução da qualidade do albúmen, em virtude da maior deposição de gordura no oviduto, prejudicando assim, a secreção e deposição de proteínas nesta estrutura (Brugalli et al., 1998).

Os ovos enriquecidos apresentam maiores teores de n-3 do que os ovos convencionais, no entanto, existem poucas referências sobre a qualidade desses ovos comercializados. Na tentativa de estimular a preferência do consumidor por um produto de qualidade, pesquisas devem demonstrar possíveis diferenças entre ovos convencionais e enriquecidos com n-3, no que diz respeito aos aspectos de qualidade externa e interna, especialmente quando estes ovos são armazenados, considerando a perecibilidade deste alimento, principalmente quando enriquecidos.

Pelo fato de serem escassos os relatos sobre a influência da condição de armazenamento sobre a qualidade de ovos provenientes de aves suplementadas com rações ricas em AGPI n-3, objetivou-se estudar os efeitos do tempo e da condição de

estocagem sobre a qualidade de ovos de codornas alimentadas com rações suplementadas com óleo como fonte de ômega 3.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Aves e dietas

Um plantel de 256 codornas japonesas adultas (110 dias de idade) foi alimentado por 84 dias com rações com suplementação com 2% de óleo como fonte de ômega 3, sendo utilizados o óleo de soja, de linhaça, de peixe e de canola (Processo nº 33/2012, aprovado pelo Comitê de Ética para Uso de Animais do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal Viçosa, Minas Gerais, Brasil).

As necessidades nutricionais basearam-se na média das recomendações para codornas com peso entre 165 a 177 g, sendo que todos os nutrientes foram corrigidos pela densidade energética da ração e a composição nutricional dos alimentos foi de acordo com os dados determinados para aves publicados por Rostagno et al. (2011).

As rações, à base de milho e farelo de soja, foram formuladas para conter 20% de proteína bruta e 2.800 kcal de energia metabolizável/kg, sendo isocalóricas, isoprotéicas e isoaminoacídicas (Tabela 1).

2.2. Preparo das amostras para avaliação do efeito do tempo de estocagem sobre a qualidade dos ovos

No 50º e 53º dia de fornecimento das rações experimentais, foram selecionados 24 ovos de cada tratamento (óleo de soja, de linhaça, de peixe e de canola), distribuídos aleatoriamente em seis repetições com quatro ovos cada. Para avaliação no tempo zero (sem estocagem) foram utilizados os ovos selecionados no 50º dia experimental.

Os 24 ovos de cada tratamento colhidos do 53º dia foram reservados a avaliação da qualidade aos 21 dias de estocagem em temperatura ambiente ($19,1 \pm 2,2^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa (UR) de 77%).

2.3. Preparo das amostras para avaliação do efeito da condição de armazenamento sobre a qualidade dos ovos

No 53º dia experimental foram colhidos e identificados 48 ovos de cada tratamento distribuídos aleatoriamente em 12 repetições com quatro ovos cada, as quais foram divididas em dois grupos armazenados por 21 dias nas seguintes condições:

Condição 1: temperatura ambiente ($19,1 \pm 2,2^{\circ}\text{C}$ e UR de 77%); **Condição 2:** refrigeração em geladeira (Consul[®] 263 litros) ($6,6 \pm 4,4^{\circ}\text{C}$ e UR de 87%).

Tabela 1. Composições percentuais e valores nutricionais das rações experimentais na matéria natural para codornas japonesas em postura

Ingredientes	Óleo de Soja	Óleo de Linhaça	Óleo de Peixe	Óleo de Canola
Milho grão	54,921	54,921	54,921	54,921
Farelo de Soja (45%)	34,049	34,049	34,049	34,049
Óleo	2,000	2,000	2,000	2,000
Calcário calcítico	6,860	6,860	6,860	6,860
Fosfato bicálcico	1,093	1,093	1,093	1,093
Sal comum	0,333	0,333	0,333	0,333
DL- Metionina (99%)	0,341	0,341	0,341	0,341
L- Lisina HCL (79%)	0,140	0,140	0,140	0,140
L- Triptofano (99%)	0,004	0,004	0,004	0,004
Cloreto de colina (60%)	0,100	0,100	0,100	0,100
Suplemento vitamínico ¹	0,100	0,100	0,100	0,100
Suplemento mineral ²	0,050	0,050	0,050	0,050
Antioxidante ³	0,010	0,010	0,010	0,010
Total	100,00	100,00	100,00	100,00
Composição calculada:				
Energia metabolizável (kcal/kg)	2.800	2.800	2.800	2.800
Proteína bruta (%)	20,00	20,00	20,00	20,00
Metionina + cistina digestível (%)	0,894	0,894	0,894	0,894
Lisina digestível (%)	1,090	1,090	1,090	1,090
Treonina digestível (%)	0,683	0,683	0,683	0,683
Triptofano digestível (%)	0,229	0,229	0,229	0,229
Arginina digestível (%)	1,287	1,287	1,287	1,287
Valina digestível (%)	0,849	0,849	0,849	0,849
Isoleucina digestível (%)	0,797	0,797	0,797	0,797
Cálcio (%)	3,000	3,000	3,000	3,000
Fósforo disponível (%)	0,310	0,310	0,310	0,310
Sódio (%)	0,150	0,150	0,150	0,150

¹Composição/kg de produto: Vit. A:12.000.000 U.I., Vit D₃:3.600.000 U.I., Vit. E: 3.500 U.I., Vit B₁:2.500 mg, Vit B₂: 8.000 mg, Vit B₆:5.000 mg, Ácido pantotênico: 12.000 mg, Biotina: 200 mg, Vit. K: 3.000 mg, Ácido fólico: 1.500mg, Ácido nicotínico: 40.000 mg, Vit. B₁₂: 20.000 mg, Selênio: 150 mg, Veículo q.s.p.: 1.000g; ²Composição/kg de produto: Mn: 160g, Fe: 100g, Zn: 100g, Cu: 20g, Co: 2g, I: 2g, Veículo q.s.p.: 1000 g; ³Butil-hidróxi-tolueno, BHT (99%).

2.4. Parâmetros avaliados

Para avaliar o efeito do tempo e da condição de estocagem sobre a qualidade dos ovos das codornas alimentadas com rações suplementadas com óleos ricos em ômega 3, analisou-se: a perda de peso dos ovos (%), o peso específico dos ovos (g/cm³), o pH da gema e o pH do albúmen.

A perda de peso durante a estocagem foi determinada pela diferença entre o peso individual de cada ovo no dia em que foi coletado e no final do período de armazenagem sob cada condição, através de balança com precisão de 0,001 g.

O peso específico foi determinado por imersão dos ovos em soluções salinas devidamente calibradas, com densidades que variavam de 1,055 a 1,090 g/cm³, com intervalos de 0,005 g/cm³, medidas por meio de densímetro (Incoterm[®] OM-5565).

Imediatamente após a imersão dos ovos nas soluções citadas anteriormente, os ovos foram quebrados, e separou-se manualmente o albúmen e a gema. As quatro gemas e os quatro albumens, correspondentes a cada repetição, foram agrupados sendo realizada a análise do pH por meio de um medidor de pH portátil (Digimed[®] DM-2P).

2.5. Delineamento experimental e análise estatística

Foi adotado um delineamento experimental inteiramente casualizado em esquema fatorial 4 x 2, sendo quatro tipos de óleos ricos em ômega 3 (soja, linhaça, peixe e canola) e dois tempos de armazenagem (frescos [tempo zero] e estocados por 21 dias – Experimento 1) ou duas condições de estocagem por 21 dias (com e sem refrigeração – Experimento 2).

Os dados obtidos foram submetidos a análises estatísticas através do programa SAS (Statistical Analysis System) software, version 9.2 (2008). Foi realizada análise de variância usando um modelo incluindo os efeitos do tempo ou da condição de estocagem, das fontes de ômega 3 na ração e da interação entre esses fatores. Em caso de interação significativa optou-se pelo estudo do efeito da fonte de ômega 3 dentro de cada tempo de estocagem ou dentro de cada condição de armazenagem. Na ausência de interação, as médias do efeito do tempo ou da condição de estocagem foram comparadas pelo teste F e utilizou-se o teste de *Tukey* para comparação entre as médias das fontes de ômega 3.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Efeito do tempo de estocagem sobre a qualidade dos ovos

Houve interação entre as fontes de ômega 3 e tempo de armazenagem apenas para o pH do albúmen, no entanto, isoladamente, a estocagem dos ovos por 21 dias reduziu ($P < 0,0001$) o peso específico e aumentou tanto o pH do albúmen quanto da gema (Tabela 2).

Com exceção do pH do albúmen de ovos estocados por 21 dias, que foi menor nos ovos provenientes de codornas alimentadas com rações suplementadas com óleo de linhaça, a adição de fontes de ômega 3 na ração das codornas não alterou ($P>0,05$) os parâmetros de qualidade dos ovos. Cedro et al. (2009) armazenaram ovos de galinhas convencionais e enriquecidos com ômega 3 por até 21 dias sob temperatura de 5 e 25°C e não detectaram diferenças significativas entre ovos convencionais e enriquecidos com ômega 3 quanto aos parâmetros de qualidade interna (Unidades Haugh, índice de gema, pH do albúmen ou pH da gema). Os autores salientaram que houve interação significativa entre o tempo de armazenamento e a temperatura e, portanto, os seus efeitos foram avaliados, independente do tipo de ovo (convencionais ou enriquecidos).

Tabela 2. Parâmetros de qualidade de ovos, frescos e armazenados por 21 dias em temperatura ambiente, de codornas alimentadas com diferentes fontes de ômega 3 na ração

Fonte de ômega 3	Perda de peso (%)	Peso específico (g/cm³)	pH albúmen	pH gema
Óleo de Soja	2,30	1,064	8,92 ^A	5,75
Óleo de Linhaça	2,30	1,064	8,86 ^B	5,70
Óleo de Peixe	2,23	1,064	8,93 ^A	5,67
Óleo de Canola	2,32	1,064	8,93 ^A	5,69
P-Valor	0,7994	0,9580	0,0041	0,3330
Tempo de estocagem (dias)				
0	-	1,073	8,56	5,53
21	2,29	1,055*	9,25*	5,87*
P-Valor	-	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Coefficiente de Variação (%)	7,22	0,20	0,57	1,89
P-Valor (interação)	-	0,8108	0,0315	0,1766

^{A-B} Médias seguidas por letras diferentes nas colunas diferem pelo teste de Tukey ($P<0,05$).

*Diferente pelo teste F ($P<0,05$).

Atribui-se a redução no peso específico ou gravidade específica à perda de peso dos ovos durante o armazenamento. De acordo com fórmula para o cálculo da densidade ($d = \text{massa/volume}$), densidade e massa são grandezas diretamente proporcionais e, dessa forma, quando ocorre decréscimo na massa, simultaneamente, ocorre decréscimo na densidade (Barbosa et al., 2008). Fato registrado neste ensaio, em que independente da fonte de ômega 3 suplementada à ração das codornas, detectou-se perda de massa dos ovos com a armazenagem o que resultou em menor peso específico dos ovos das codornas (Tabela 2).

Santos et al. (2009) e Freitas et al. (2011) constataram que o armazenamento dos ovos de galinhas comerciais durante 21 dias, independente da temperatura, ocasionou índice de gravidade específica significativamente menor, quando comparado aos ovos com 7 e 14 dias de armazenamento. A perda de água que ocorre no ovo depois da postura em consequência da evaporação provoca aumento progressivo da câmara de ar e, conseqüentemente, a diminuição da gravidade específica do ovo (Santos et al., 2009). Fato também constatado neste estudo em que a estocagem por 21 dias, na ausência de refrigeração, promoveu redução do peso específico dos ovos das codornas.

A partir do desdobramento da interação entre tempo de estocagem e fontes de ômega 3 para pH do albúmen, detecta-se que independente do óleo como fonte de ômega 3 adicionado à ração das codornas, os ovos frescos apresentaram mesmo pH do albúmen ($P>0,05$), entretanto quando os ovos foram estocados por 21 dias, aqueles provenientes de codornas que receberam ração com óleo de linhaça apresentaram menor pH do albúmen em relação às demais fontes de ômega 3 (Tabela 3).

Tabela 3. Média e P-Valor para a comparação do pH albúmen entre as fontes de ômega 3 utilizadas na ração das codornas dentro de cada tempo de estocagem

Fonte de ômega 3	Tempo de estocagem (dias)	
	0	21
Óleo de Soja	8,55 ^A	9,28 ^A
Óleo de Linhaça	8,55 ^A	9,17 ^B
Óleo de Peixe	8,57 ^A	9,29 ^A
Óleo de Canola	8,59 ^A	9,27 ^A
P-Valor	0,7995	<0,0001

^{A-B} Médias seguidas por letras diferentes nas colunas diferem pelo teste de Tukey ($P<0,05$).

Russo et al. (2010) observaram que à medida que aumentou o tempo de estocagem (0, 7, 14, 21, 28 e 35 dias) sob 24°C houve também aumento no pH tanto da gema quanto do albúmen de ovos de galinhas poedeiras alimentadas com rações com 2,5 ou 5% de óleo de soja, de canola ou de linhaça e suas combinações. Segundo Stadelman & Cotterill (1995), quando armazenados em temperatura ambiente elevada os ovos sofrem reações químicas que aceleram seu processo de degradação, o CO₂ sai do interior do ovo através dos poros da casca, dando lugar ao oxigênio, acarretando assim a elevação do pH.

Independente da fonte de ômega 3 adicionada à ração das codornas houve aumento significativo ($P<0,05$) do pH do albúmen dos ovos estocados por 21 dias em comparação com ovos frescos. Mateos & Beorlegui (1991) mencionaram que os fatores

que mais afetam a qualidade do albúmen são as condições e o tempo de armazenamento dos ovos. O CO₂ dissolvido no albúmen durante o processo de formação do ovo, após a oviposição, passa a atmosfera como consequência de um gradiente negativo de concentração. Essa perda de CO₂ causa aumento do pH e fluidificação do albúmen. A fluidificação, por ser processo bioquímico, é acelerada com o aumento da temperatura. Além disso, com o calor, o ovo transpira e perde, ainda mais, CO₂ e água.

Souza & Souza (1995) observaram valores reduzidos para pH da clara de ovos de codorna mantidos na ausência de refrigeração de 9,0 para 8,9 após 21 dias de estocagem. Já Baptista (2002) constatou pequena elevação no valor de pH do albúmen de ovos de codornas armazenados em local sem refrigeração (25 ± 1°C) de 9,23 para 9,64, depois de 27 dias de armazenamento.

O maior valor do pH da gema de ovos de codornas estocados por 21 dias em relação aos ovos frescos está diretamente relacionado ao aumento do pH do albúmen, o que concorda com os resultados obtidos por Mendonça et al. (2013) que observaram que o pH da gema de ovos de codornas, que não receberam tratamento superficial na casca, aumentou de forma linear com o tempo de estocagem. Isso acontece, segundo Shang et al. (2004), em função dos íons alcalinos provenientes do albúmen possivelmente serem trocados com íons H⁺ presentes na gema com elevação do pH da gema.

Akyurek & Okur (2009) também constataram aumento no pH do albúmen e da gema de ovos de galinhas em função do tempo de armazenamento (0, 3, 7, 10 e 14 dias) e da temperatura de conservação (4 e 20°C). No geral, o pH do albúmen aumentou em ovos de galinhas com 22 e 50 semanas de idade, de 7,95 para 9,22 e de 8,22 para 9,25 em 0 e 14 dias de armazenamento, respectivamente, sendo que a maior parte desse aumento ocorreu durante os três primeiros dias de estocagem.

Jin et al. (2011) relataram aumentos significativos nos valores de pH do albúmen e no pH da gema de ovos de galinhas com o avançar do tempo de armazenamento sob temperaturas de 5, 21 e 29°C. Foi verificado aumento rápido na alcalinidade do albúmen, após apenas dois dias de armazenagem, independentemente da temperatura, o pH do albúmen de ovos frescos de 7,95 aumentou para 8,77 após 2 dias de estocagem a 21°C. Após cinco e dez dias de armazenamento sob essa temperatura, o pH do albúmen atingiu, respectivamente, o valor de 9,18 e 9,50. Contudo, os autores destacaram que o aumento do pH da gema não foi tão expressivo como o acréscimo no pH do albúmen.

Sob 21°C, os valores de pH da gema foram 5,65; 5,87; 5,92 e 6,09 aos 0, 2, 5 e 10 dias de estocagem, respectivamente.

Independente da fonte de ômega 3 suplementada na ração das codornas, os ovos quando estocados por 21 dias, na ausência de refrigeração, apresentam prejuízo da qualidade.

3.2. Efeito da condição de estocagem sobre a qualidade dos ovos

A interação entre fontes de ômega 3 e condição de estocagem influenciou apenas o pH do albúmen dos ovos. O pH da gema foi alterado ($P < 0,05$) exclusivamente pelas fontes de ômega 3 e a perda de peso dos ovos por ambos os fatores (fontes de ômega 3 e condição de armazenamento). Já o peso específico dos ovos das codornas alimentadas com rações contendo as fontes de ômega 3 não foi influenciado por nenhum dos fatores de variação (Tabela 4).

Tabela 4. Parâmetros de qualidade de ovos, estocados por 21 dias sob duas condições, com e sem refrigeração, de codornas alimentadas com diferentes níveis de óleo de linhaça na ração

Fonte de ômega 3	Perda de peso (%)	Peso específico (g/cm ³)	pH albúmen	pH gema
Óleo de Soja	2,19 ^{AB}	1,054	9,13 ^B	5,95 ^A
Óleo de Linhaça	2,13 ^{AB}	1,056	9,13 ^B	5,79 ^B
Óleo de Peixe	2,11 ^B	1,056	9,18 ^{AB}	5,82 ^{AB}
Óleo de Canola	2,32 ^A	1,055	9,21 ^A	5,81 ^{AB}
P-Valor	0,0274	0,2215	0,0063	0,0211
Condição de estocagem				
Sem refrigeração	2,29	1,055	9,25	5,87
Com refrigeração	2,08 [*]	1,055	9,08 [*]	5,81
P-Valor	0,0002	1,0000	<0,0001	0,1137
Coefficiente de Variação (%)	7,97	0,23	0,70	2,23
P-Valor (interação)	0,1520	0,4759	0,0012	0,8636

^{A-B} Médias seguidas por letras diferentes nas colunas diferem pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

^{*} Diferente pelo teste F ($P < 0,05$).

A perda de peso dos ovos foi influenciada ($P < 0,05$) pela adição das fontes de ômega 3 na ração das codornas, sendo que os tratamentos com óleo de peixe e óleo de canola proporcionaram, respectivamente, menor e maior perda de peso, sendo os demais tratamentos semelhantes entre si.

Seibel et al. (2005) ao estocarem sob refrigeração ($7,3 \pm 0,5^\circ\text{C}$) e avaliarem a qualidade física e química aos 10, 20 e 30 dias de armazenamento de ovos de codornas alimentadas com quatro diferentes dietas: controle (2,7% de óleo de arroz), e fração

sólida de silagem química de resíduos de pescado em níveis de 3,3; 6,6 e 9,9%, observaram que, embora não tenha havido relação entre as dietas, a que continha 3,3% da fração sólida de silagem promoveu nos últimos dez dias maior perda de peso dos ovos (2,64% no final dos 30 dias de análise) em relação àqueles oriundos de codornas alimentadas com as demais dietas.

Nota-se, neste estudo, que a maior perda de peso de 2,32% em ovos oriundos de codornas que receberam ração com óleo de canola, manteve-se dentro dos limites de perda de peso, indicados pela FAO (2003), para ovos de galinhas poedeiras comerciais que é de 2 a 3%. Segundo o órgão, a perda de peso dos ovos dentro desses limites é comum e dificilmente perceptível pelos consumidores.

Russo et al. (2010) verificaram que apenas aos 14 dias de armazenamento houve diferença significativa entre os tratamentos para peso dos ovos de galinhas poedeiras comerciais alimentadas com rações suplementadas com óleos vegetais (2,5 ou 5% de óleo de soja, de canola ou de linhaça), sendo que os ovos que apresentaram os maiores pesos foram os provenientes das galinhas que receberam rações com 2,5% de óleo de canola e, menores pesos, os ovos produzidos pelas aves alimentadas com rações com 2,5% de óleo de linhaça, já os ovos oriundos de galinhas que receberam os demais tratamentos apresentaram pesos intermediários a esses e não diferiram entre si.

Houve perda de peso dos ovos de codornas estocados sob ambas as condições, com e sem refrigeração, contudo a perda de peso foi menor para ovos armazenados sob refrigeração em relação aqueles mantidos na ausência de refrigeração por 21 dias (Tabela 4). De acordo com Seibel et al. (2005), logo que o ovo é posto começam a ocorrer mudanças que baixam a qualidade interna, estas mudanças podem ser retardadas por resfriamento, mas não evitadas totalmente.

Com o aumento do tempo de estocagem (5, 10, 15 e 20 dias) sob duas temperaturas, ambiente e refrigeração, Moura et al. (2008) também constataram redução da qualidade interna de ovos de codornas. Os autores observaram redução da altura de albúmen e da unidade Haugh e aumento da perda de peso de ovos de codornas armazenados sob temperatura ambiente. Contudo, no decorrer do período de armazenamento, os valores médios de altura de albúmen e unidade Haugh dos ovos estocados sob refrigeração foram maiores do que as respectivas médias desses parâmetros em ovos de codornas armazenados sob temperatura ambiente.

Torrico et al. (2011) relataram que, durante as cinco primeiras semanas de armazenamento, a refrigeração por si só não foi suficiente para manter a perda de peso

de ovos de galinhas abaixo do nível recomendado pela FAO (2003), que é de 2 a 3%, pelo fato de terem constatado que ovos de galinhas, sem tratamento superficial na casca, após cinco semanas de estocagem sob 4°C apresentaram perda de peso de 4,17%. Entretanto, na presente pesquisa a refrigeração foi suficiente para conter o avanço na perda de peso dos ovos de codornas estocados por 21 dias, mantendo-se próxima ao limite inferior (2%) indicado pela FAO (2003).

Embora a redução no peso específico dos ovos estar relacionada à maior perda de peso durante a armazenagem, a condição de estocagem, nesta pesquisa, não influenciou ($P>0,05$) o peso específico dos ovos das codornas, apesar de ter havido menor perda de peso dos ovos estocados por 21 dias sob refrigeração.

Segundo Sauveur (1993), a redução da gravidade específica do ovo ocorre de forma linear, estimando-se em torno de 0,0016 unidades por dia, em temperatura ambiente (15 a 22°C). No estudo feito por Santos et al. (2009), a gravidade específica dos ovos de galinhas mantidos em temperatura ambiente (27,84°C), no intervalo de 14 dias, diminuiu 0,0019 unidades/dia. Todavia, quando os autores analisaram os ovos estocados em temperatura de refrigeração (4,65°C), no mesmo intervalo, constataram redução de 0,0018 unidades/dia.

Observa-se, portanto, que somente a refrigeração não é suficiente para conter de forma significativa a redução do peso específico dos ovos com a estocagem, uma vez que a diminuição deste parâmetro foi ligeiramente menor (0,0001 unidades/dia) em ovos estocados sob refrigeração comparados aos ovos mantidos sob temperatura ambiente, como constatado por Santos et al. (2009). Isso pode explicar o fato desta pesquisa com ovos de codornas não ter apresentado valores de gravidade específica estatisticamente ($P>0,05$) diferentes para ovos de codornas armazenados sob temperatura ambiente e refrigerada (Tabela 4).

O pH do albúmen foi influenciado pela interação entre condição de estocagem e fontes de ômega 3 na ração (Tabela 3), porém o desdobramento da interação entre esses fatores demonstrou que independente da fonte de ômega 3 utilizada na alimentação das codornas a estocagem sob refrigeração restringe o aumento do pH do albúmen em comparação com o armazenamento na ausência de refrigeração (Tabela 5).

Tabela 5. Média e P-Valor para a comparação do pH albúmen entre as condições de estocagem dentro de cada fonte de ômega 3 utilizada na ração das codornas

Condição de estocagem	Fontes de ômega 3			
	Óleo de Soja	Óleo de Linhaça	Óleo de Peixe	Óleo de Canola
Sem Refrigeração	9,28	9,17	9,29	9,28
Com Refrigeração	8,99*	9,09*	9,08*	9,15*
P-Valor	<0,0001	0,0442	<0,0001	0,0012

*Diferente pelo teste F ($P < 0,05$).

De forma semelhante, Akyurek & Okur (2009) constataram aumento tanto no pH do albúmen quanto no pH da gema de ovos de galinhas em função do tempo (0, 3, 7, 10 e 14 dias) e da temperatura de conservação (4 e 20°C), sendo que o incremento no pH do albúmen e no pH da gema foram mais evidentes a 20°C.

O pH do albúmen no momento da oviposição é cerca de 7,6, ligeiramente mais básico que o fluido uterino, e aumenta para cerca de 9,0 durante o armazenamento na medida que o CO₂ dissolvido difunde-se para fora (Akyurek & Okur, 2009). Segundo os autores, a capacidade tampão do albúmen é menor entre 7,5 e 8,5, o que explica o rápido aumento de CO₂ que é perdido, acarretando, portanto, maiores valores de pH ao longo do tempo de armazenamento.

Jin et al. (2011) verificaram interação significativa entre o tempo e a temperatura de armazenagem para o pH do albúmen de ovos de galinhas estocados sob 5, 21 e 29°C por 0, 2, 5 e 10 dias. A maior parte do aumento ocorreu durante os primeiros cinco dias de armazenagem. Após esse período sob 5 e 29°C, não houve aumento expressivo do pH do albúmen, porém os ovos estocados a 21°C ainda apresentaram incremento significativo deste parâmetro aos 10 dias de estocagem.

O pH da gema não foi alterado ($P > 0,05$) pela condição de estocagem por 21 dias (Tabela 4). Segundo Caner (2005), as gemas têm uma faixa de pH próximo a 6,0, que se mantém relativamente constante durante o armazenamento. Entretanto, as fontes de ômega 3 afetaram ($P = 0,0211$) o pH da gema, o qual apresentou menor valor com a utilização de óleo de linhaça na ração das codornas.

Ao contrário do observado neste estudo com ovos de codornas, Cedro et al. (2009) não verificaram diferença significativa entre as médias de pH da gema dos dois tipos de ovos de galinha estudados (convencional e enriquecido com ômega 3) armazenados por 21 dias.

Entretanto, Russo et al. (2010) ao fornecerem para galinhas poedeiras rações com 2,5 ou 5% de óleo de soja, de canola ou de linhaça e suas combinações e avaliarem a qualidade interna dos ovos ao longo do armazenamento (0, 7, 14, 21, 28 e 35 dias) sob 24°C, verificaram que em relação ao pH da gema, os ovos provenientes das aves que receberam ração com 2,5% óleo de linhaça + 2,5% óleo de soja apresentaram-se mais alcalinos quando comparados aos oriundos da alimentação com 2,5% óleo de canola + 2,5% óleo de soja. Os tratamentos 2,5% óleo de linhaça e 2,5% óleo de soja proporcionaram pH da gema semelhantes entre si (6,70 e 6,61, respectivamente), resultado que discorda deste ensaio com ovos de codornas em que aqueles oriundos de aves que receberam ração com óleo de soja apresentaram pH da gema maior, mais alcalino, do que os ovos produzidos por codornas alimentadas com ração contendo óleo de linhaça (5,95 e 5,79, respectivamente). Já a adição de óleo de peixe ou de canola na ração das codornas promoveu valores de pH da gema semelhantes entre si e aos demais tratamentos.

Foi observada piora na qualidade dos ovos de codornas dependendo da condição de estocagem, independente do tipo de óleo como fonte de ômega 3 adicionado a ração, no entanto, de forma geral, verificou-se que o prejuízo na qualidade de ovos estocados é minimizado quando o armazenamento se dá sob refrigeração.

4. CONCLUSÃO

O tempo e a condição de estocagem prejudicam a qualidade de ovos de codornas, independente da fonte de ômega 3 adicionada à ração. A estocagem sob refrigeração promove melhor conservação da qualidade dos ovos.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHN, D.U.; SUNWOO, H.H.; WOLFE, F.H.; SIM, J.S. Effects of dietary linolenic acid and strain of hen on the fatty acid composition, storage stability and flavor characteristics of chicken eggs. **Poultry Science**, v. 74, n. 9, p. 1540-1547, 1995.

AKYUREK, H.; OKUR, A.A. Effect of storage time, temperature and hen age on egg quality in free-range layers hens. **Journal of Animal and Veterinary Advances**, v. 8, n. 10, p. 1953-1958, 2009.

BAPTISTA, R.F. **Avaliação da qualidade interna de ovos de codorna (*Coturnix coturnix japônica*) em função da variação da temperatura de armazenamento**. 2002. 95 f. Dissertação (Mestrado em Medicina Veterinária) – Universidade Federal Fluminense, 2002.

BARBOSA, N.A.A.; SAKOMURA, N.K.; MENDONÇA, M.O.; FREITAS, E.R. FERNANDES, J.B.K. Qualidade de ovos comerciais provenientes de poedeiras comerciais

armazenados sob diferentes tempos e condições de ambientes. **ARS Veterinária**, v.24, n.2, 127-133, 2008.

BRUGALLI, I.; RUTZ, F.; ZONTA, E.P.; ROLL, V.F.B. Efeito dos níveis de óleo e proteína da dieta sobre a qualidade interna de ovos em diferentes condições e tempo de armazenamento. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 4, n. 3, p. 187-190, 1998.

CEDRO, T.M.M.; CALIXTO, L.F.L.; GASPAR, A.; CURVELLO, F.A.; HORA, A.S. Internal quality of conventional and omega-3-enriched commercial eggs stored under different temperatures. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, v. 11, n. 3, p. 181-185, 2009.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Egg marketing: a guide for the production and sale of eggs**. Rome, Italy, 2003. (Bulletin, 150). Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/005/y4628e/y4628e00.HTM#Contents>>. Acesso em 06 ago. 2012.

FREITAS, L.W.; ALMEIDA PAZ, I.C.L.; GARCIA, R.G.; CALDARA, F.R.; SENO, L.O.; FELIX, G.A.; LIMA, N.D.S.; FERREIRA, V.M.O.S.; CAVICHIOLO, F. Aspectos qualitativos de ovos comerciais submetidos a diferentes condições de armazenamento. **Revista Agrarian**, v. 4, n. 11, p.66-72, 2011.

HAYAT, Z.; CHERIAN, G.; PASHA, T.N.; KHATTAK, F.M.; JABBAR, M.A. Oxidative stability and lipid components of eggs from flax-fed hens: effect of dietary antioxidants and storage. **Poultry Science**, v. 89, n. 6, p. 1285-1292, 2010.

JIN, Y. H.; LEE, K. T.; LEE, W. I.; HAN, Y. K. Effects of storage temperature and time on the quality of eggs from laying hens at peak production. **Asian-Australasian Journal of Animal Science**, v. 24, n. 2, p. 279-284, 2011.

MATEOS, G.G.; BEORLEGUI, C.B. **Nutricion y alimentacion de gallinas ponedoras**. Madrid: Mundi-Prensa, 1991. 263p.

MENDONÇA, M.O.; REIS, R.S.; BARRETO, S.L.T.; MUNIZ, J.C.L.; VIANA, G.S.; MENCALHA, R.; FERREIRA, R.C.; RIBEIRO, C.L.N. Qualidade de ovos de codorna submetidos ou não a tratamento superficial da casca armazenados em diferentes ambientes. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 14, n. 1, p. 195-208, 2013.

MOURA, A.M.A.; OLIVEIRA, N.T.E.; THIEBAUT, J.T.L.; MELO, T.V. Efeito da temperatura de estocagem e do tipo de embalagem sobre a qualidade interna de ovos de codornas japonesas (*Coturnix japonica*). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 2, p. 578-583, 2008.

ROSTAGNO, H.S.; ALBINO, L.F.T.; DONZELE, J.L.; GOMES, P.C.; OLIVEIRA, R.F.M.; LOPES, D.C.; FERREIRA, A.S.; BARRETO, S.L.T. **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Zootecnia, 2011. 252 p.

RUSSO, J.C.; GARCIA, E.A.; FAITARONE, A.B.G.; SILVA, A.P.; MOLINO, A.B. Efeito da adição de óleos vegetais na dieta de poedeiras sobre a qualidade de ovos durante o armazenamento. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNESP, 22., 2010, Marília. p. 1270-1273. **Anais...** Marília: UNESP, 2010. Disponível em: <http://prope.unesp.br/xxii_cic/ver_resumo.php?area=100043&subarea=12114&congresso=30&CPF=36985323871>. Acesso em 10 set. 2013.

SANTOS, M.S.V.; ESPÍNDOLA, G.B.; LÔBO, R.N.B.; FREITAS, E.R.; GUERRA, J.L.L.; SANTOS, A.B.E. Efeito da temperatura e estocagem em ovos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 29, n. 3, p. 513-517, 2009.

SAUVEUR, B. **El huevo para consumo: bases productivas**. Tradução por Carlos Buxadé Carbó. Barcelona: Aedos Editorial, 1993. 377 p.

SEIBEL, N.F.; BARBOSA, L.N.; GONÇALVES, P.M.; SOUZA-SOARES, L.A. Qualidade física e química de ovos de codornas alimentadas com dietas modificadas. **Revista Instituto Adolfo Lutz**, v. 64, n.1, p. 58-64, 2005.

SHANG, X.G.; WANG, F.L.; LI, D.F.; YIN, D.J.; LI, J.Y. Effects of dietary conjugated linoleic acid on the productivity of laying hens and egg quality during refrigerated storage. **Poultry Science**, v. 83, n. 10, p. 1688-1695, 2004.

SOUZA, H.B.A.; SOUZA, P.A. Efeito da temperatura de estocagem sobre a qualidade interna de ovos de codorna armazenados durante 21 dias. **Alimentos e Nutrição**, Marília, v.6, p.7-13, 1995.

STADELMAN, W.J.; COTTERILL, O.J. **Egg science and technology**. New York/London: Food Products Press, 1995. 323p.

TORRICO, D.D.; NO, H.K.; PRINYAWIWATKUL, W.; JANES, M.; CORREDOR, J.A.; OSORIO, L.F. Mineral oil–chitosan emulsion coatings affect quality and shelf-life of coated eggs during refrigerated and room temperature storage. **Journal of Food Science**, v. 76, p. 262-268, 2011. Supl.

WHITEHEAD, C.C.; BOWMAN, A.S.; GRIFFIN, H.D. Regulation of plasma oestrogens by dietary fats in the laying hen: Relationships with egg weight. **British Poultry Science**, v. 34, n. 5, p. 999-1010, 1993.

CAPÍTULO VI

(Submetido ao *Journal of Agricultural and Food Chemistry*)

(Manuscript ID: jf-2013-04590g)

QUALITY OF EGGS SUBJECTED TO STORAGE OR HEAT TREATMENT FROM QUAILS FED DIFFERENT SOURCES OF OMEGA-3 FATTY ACIDS

ABSTRACT

The fatty acid profile, lipid oxidation, antioxidant activity and phenolic content of egg yolks subjected to thermal processing or different storage conditions from quails fed diets supplemented with omega-3 (soybean oil, linseed oil, fish oil, canola oil) were analyze using a randomized design in a 4 (omega-3 sources) x 2 (processed with moist cooking or not and with or without refrigeration) factorial scheme. Heat increased polyunsaturated fatty acid levels (especially linolenic acid), reduced saturated fatty acid levels and resulted in a more balanced n-6:n-3 ratio despite increased oxidation. The reduction in the oxidative stability of cooked eggs was mitigated by the greater availability of phenolic compounds and increases in antioxidant capacity. Refrigeration for 35 days preserved the polyunsaturated fatty acid levels and ratios with saturated and monounsaturated fatty acids, increased phenolic compound levels and promoted greater oxidative stability despite a reduction in antioxidant capacity.

Keywords: cooking, Omega 3 oils, polyunsaturated fatty acids, quail eggs, storage

INTRODUCTION

The literature provides convincing evidence of the health benefits of omega-3 polyunsaturated fatty acids (n-3 PUFAs) in the prevention and treatment of metabolic syndrome, which has a set of symptoms that includes visceral obesity, insulin resistance, elevated blood pressure, hyperlipidemia associated with an increased risk for type 2 diabetes, cardiovascular disease, nonalcoholic fatty liver diseases and some types of cancer¹. However, recent changes in human nutrition characterized by an increased intake of fats and vegetable oils rich in omega-6 (n-6) PUFAs and a decreased intake of foods rich in omega-3 (n-3) PUFAs have resulted in a n-6:n-3 ratio of 10:1-20:1 in Western diets, which is well above the 1:1 ratio found in the diet of our ancestors. Thus, the enrichment of foods is most likely the best long-term solution for increasing our intake of n-3 PUFAs.¹

According to Bourre,² enriching products of animal origin by supplementing the diets of animals with sources rich in n-3, such as canola oil, linseed oil or fish oil, can render the n-6:n-3 intake more balanced in human diets. According to Bourre, eggs are the perfect model of dietary transfer, as the type of fatty acid in the egg yolk is closely related to the type of lipid consumed by the bird.

Thus, the use of nutritional strategies to improve the quality and composition of products of animal origin has provided the link between animal production, food technology and human nutrition. Aware of this new trend, the poultry industry (and egg producers in particular) has invested in new technologies to enrich the product while retaining its excellent traditional nutritional value.

Studies have shown that the yolk lipid composition can be beneficially altered by increasing n-3 PUFAs by providing supplemental linseed oil, canola oil or fish oil to

laying hens^{3,4} or quails⁵; however, few studies have been conducted on the latter species.

According to Nimalaratne et al.,⁶ Campophenolic compounds are another class of compounds that may play a preventive role in the development of chronic human diseases, such as cancer and cardiovascular diseases; these compounds belong to one of the largest classes of plant secondary metabolites and have strong antioxidant properties. The occurrence of phenolic compounds in animal tissues is explained by the animal's intake of plant products. Because poultry diets consist mainly of plant components, phenolic compounds can be transferred to the egg and can confer antioxidant and antimicrobial qualities to the product. However, Nimalaratne et al.⁶ mention that no studies in the literature have reported on the total phenolic content of chicken or quail eggs.

The egg, like most products of animal origin, is perishable and begins to lose its nutritional value shortly after it is laid, especially when appropriate measures for its preservation are not adopted. Refrigeration at the points of sale can significantly prolong the shelf life of eggs. However, most eggs in Brazil, whether from chickens or quails, are sold *in natura*, and the entire trade process occurs without refrigeration.

Approximately 28% of quail eggs are sold in preserves, 71% *in natura* and 1% in other forms.⁷ Therefore, 99% of quail eggs are consumed after some type of cooking process (usually boiling) that may promote changes in their nutritional value.

Therefore, assessing the impact of heat treatment and storage on the quality of eggs from quails fed diets supplemented with n-3 PUFAs is important as most research studies are conducted using chicken eggs.

The objective of this study was to evaluate the fatty acid profile, oxidative stability, antioxidant activity and phenolic content of eggs subjected to thermal

processing or different storage temperatures from quails supplemented with omega-3 PUFAs.

MATERIALS AND METHODS

Birds and Diets. A total of 256 adult Japanese quails (110 days old) were fed feed containing 2% n-3 PUFAs from different oils [soybean oil (SO), linseed oil (LO), fish oil (FO) or canola oil (CO)] for 84 days (Process n° 33/2012, approved by the Ethics Committee on Animal Use of the Department of Animal Science of the Federal University of Viçosa (Universidade Federal de Viçosa - UFV), Minas Gerais, Brazil). Nutritional requirements were based on the recommendations for quail eggs weighing 165 to 177 g. The amount of nutrients was adjusted for the energy concentration of the feed. The nutritional composition of the feeds used in the diets followed the recommendations of Rostagno et al.⁸ (Table 1).

Preparation of Samples for the Evaluation of the Effect of Thermal Processing on Egg Quality. On the 45th day of the experiment, 48 intact eggs from each treatment were randomly collected and distributed into four replicates (with six eggs each). Twenty-four of these eggs were kept raw; the yolks were separated from the albumen and manually homogenized with a spoon in a Petri dish. The 24 remaining eggs were cooked at 98°C ± 2°C for ten minutes (counted from the start of water boiling) and cooled in running water. The eggs were then manually peeled, and the yolks were removed and homogenized using a fork in a Petri dish. All samples of yolks, raw and cooked, were properly labeled, lyophilized and stored in aluminum lidded containers at -18°C until further analysis.

Preparation of Samples for the Evaluation of the Effect of Storage Temperature on the Quality of Eggs. On the 51th day of the experiment, 48 eggs from

each treatment were collected and labeled. The eggs were randomly distributed into 12 replicates (with four eggs each); the replicates were divided into two groups and stored for 35 days under the following conditions: **Condition 1:** room temperature ($18.8 \pm 2.0^{\circ}\text{C}$) and 73.5% relative humidity (RU); **Condition 2:** cooling in the refrigerator (Consul[®] 263 liters) ($6.6 \pm 4.1^{\circ}\text{C}$ and 87% RU).

At the end of the storage period, the yolks were manually separated from the albumen and homogenized using a spoon in a Petri dish. Next, the samples were properly labeled, lyophilized and stored in aluminum lidded containers in a freezer at -18°C until further analysis.

Laboratory analyses. To assess the effect of cooking and storage time on egg quality, the following yolk parameters were measured: fatty acid profile using the direct methylation method by gas chromatography,⁹ oxidative stability (Thiobarbituric acid reactive substances [TBARS] value) by aqueous-acid extraction,¹⁰ levels of phenolic compounds using the Folin-Ciocalteu reagent¹¹ and total antioxidant capacity through DPPH (1,1-Diphenyl-2-picrylhydrazyl) radical scavenging.¹²

Experimental Design and Analyses. A completely randomized design in a 4x2 factorial scheme was adopted, with four treatments (omega-3 sources in the feed) and two storage conditions (with and without refrigeration) or types of thermal processing (raw and cooked).

The data obtained were subjected to statistical analysis using the SAS (Statistical Analysis System) software, version 9.1. Analysis of variance was performed using a model including the effects of the storage condition or the thermal processing, the sources of omega 3 and the interaction between these factors. If a statistically significant interaction was found, an analysis was performed to study the effect of the omega-3

source within each storage condition or in the presence or absence of thermal processing. If the interaction was not significant, the mean effects of storage condition or thermal processing were compared using the F test and the mean values of omega-3 sources were compared using Tukey's test at 5% probability.

RESULTS AND DISCUSSION

Effect of Thermal Processing on Egg Quality. The fatty acid (FA) profile of eggs was not affected by the interaction between thermal processing and omega-3 source. In general, both the boiling and the type of oil can alter the levels of most fatty acids (Table 2).

The cooking of eggs decreased ($P < 0.05$) the levels of saturated fatty acids (SFA) and monounsaturated fatty acids (MUFA) and increased the concentration of polyunsaturated fatty acids (PUFA) (Table 2).

Mazalli and Bragagnolo¹³ evaluated raw and cooked/fried chicken omega-3-enriched eggs and found that thermal processing had no effect on the SFA content (although concentrations of MUFAs and PUFAs decreased).

Because studies on the effects of thermal processing on the composition of eggs enriched with n-3 and n-6 PUFAs are very limited,¹⁴ a discussion of the results is difficult. The above-mentioned authors observed that cooked eggs from hens fed 4% linseed oil increased SFA and MUFA contents and decreased PUFA contents; however, when the birds were fed 4% sunflower oil, only the MUFA content increased, and SFA and PUFA contents were not affected by cooking.

In this study, the thermal processing of quail eggs increased linolenic acid (ALA), total n-6 and total n-3 levels in the egg yolks (Table 2). Although all egg samples were lyophilized, the heat treatment of eggs followed by lyophilization resulted

in higher levels of total solids (from 60% in raw eggs to 62% in cooked eggs), which may have contributed to the observed increase in the FA content. Ferreira et al.¹⁵ reported that cooking increases dry matter as a result of the consequent water loss, which can lead to an increase in the concentration of the other food constituents.

The n-6:n-3 ratio of quail egg yolks decreased with thermal processing, approaching the intake levels indicated for an appropriate recommended balance (Table 2). According to Martin et al.,¹⁶ several studies reported a convergence of the n-6:n-3 ratio towards 4:1-5:1; however, ratios between 2:1 and 4:1 are more appropriate for people with dietary habits that lead to a low intake of EPA (eicosapentaenoic acid) and DHA (docosahexaenoic acid). Diets based on n-6:n-3 ratios lower than 1:1 are not recommended as they inhibit the transformation of linoleic acid (LA) into long-chain PUFAs.

The addition of linseed oil (LO) to the diet of quails resulted in significantly lower ($P<0.05$) levels of SFAs and MUFAs and higher ($P>0.05$) levels of PUFAs in eggs; this finding is attributed to the high MUFAs and PUFAs levels and the low SFA levels in the diet (Table 1), which directly impact the lipid profile of eggs. Pita et al.⁴ also related that egg yolks from laying hens offered feed with LO had lower SFA contents, which consequently affected the amount of unsaturated FAs; for these hens, the reduction in SFAs is desirable from a nutritional standpoint.

Similarly, a greater incorporation of MUFAs into quail egg yolks was observed when quails were fed canola oil (CO); this result may be because CO has higher levels of MUFAs (66.56%) than other types of oil (26.96, 25.04 and 19.57% in fish oil [FO], soybean oil [SO] and linseed oil [LO], respectively). Consequently, a greater MUFA:SFA ratio was detected in the egg yolks of quails fed diets with 2% CO. In contrast, Faitarone³ found that egg yolks from hens fed diets without oil

supplementation had greater MUFA:SFA ratios than egg yolks from birds fed 2.5 or 5.0% SO, LO or CO and combinations thereof; however, egg yolks from birds supplemented with 2.5% CO had ratios with intermediate values, similar to those observed in the other treatments.

The change in the FA content of processed eggs may be related to the composition of the oil used to enrich the poultry feed. Botsoglou et al.¹⁴ reported that cooked eggs originating from hens fed linseed oil showed more of a change in the total FA content (especially for FAs from the n-3 group) than the eggs from birds fed sunflower oil. This result is attributed to the fact that the eggs from hens supplemented with linseed oil had higher levels of MUFAs and n-3 PUFAs (but lower SFA, PUFA and n-6 PUFA levels) than the eggs from hens supplemented with sunflower oil.

Lower levels of linoleic acid (LA), arachidonic acid (AA) and total n-6 FAs were observed in the eggs of quails fed diets supplemented with LO, although a statistically significant difference was only detected for LA ($P < 0.05$). However, dietary supplementation with LO resulted in yolk n-3 FA levels that were 5.8, 2.6 and 2.8 times higher than those observed in the eggs of birds supplemented with SO, FO and CO, respectively; indeed, birds fed LO had higher levels of ALA, EPA and DHA and a lower n-6:n-3 ratio, although a statistically significant value ($P < 0.05$) was noted only for EPA.

Çitil et al.⁵ reported a statistically significant decrease in the levels of LA, AA and total n-6 FAs in the eggs of Japanese quails fed 0, 1.0, 2.0 and 3.0% linseed oil (with considerably lower levels for the 3.0% supplementation); at the same time, the egg levels of ALA, EPA and DHA increased with linseed oil supplementation; similar results were observed in the present study.

Baucells et al.¹⁷ also showed that egg yolks from laying hens offered feed with LO completely replacing FO had increased levels of EPA, DHA and ALA; however, these effects were not observed following supplementation with LO (25, 50 and 75%), canola oil, sunflower oil or tallow oil (25, 50, 75 and 100%). The results showed that the ALA of LO was an effective precursor of n-3 long-chain fatty acids in the eggs.

Martin et al.¹⁶ suggested that n-6:n-3 intakes should not exceed 4:1. The intake of essential FAs triggers a series of chemical reactions in the animal organism mediated by desaturase and elongase enzymes. These lipids are converted into other long-chain fatty acids, such as AA, EPA and DHA. Competition can occur among these enzymes; as a result, the excessive intake of n-6 PUFAs limits the formation of n-3 PUFAs in the animal organism and vice versa.

Supplementing quail feed with LO resulted in a smaller n-6:n-3 ratio in eggs (Table 2); Faitarone³ found a similar marked decrease in the n-6:n-3 ratio in the egg yolks of hens supplemented with LO (2.5 or 5%); the authors attributed this result to the high number of n-3 PUFAs in LO that were incorporated into the eggs. Pita et al.⁴ also detected a lower n-6:n-3 ratio (1.55) in the eggs of chickens fed 3% LO than in the eggs of chickens fed corn, salmon, sardine + tuna oils, SO or CO (16.93, 3.11, 2.45, 10.36 or 6.48, respectively).

The interaction between the thermal processing of eggs and the type of oil had a significant effect on the total phenolic (TP) content of the egg. Statistically significant effects of cooking on the antioxidant capacity (DPPH) and oxidative stability (TBARS) of the egg were observed, although the latter parameter was not altered by the supplementation with oils (Table 3).

Cooked quail eggs had increased DPPH levels, TP contents and TBARS. The increase in the degree of oxidation observed in egg yolks was not expected as these eggs

also had higher TP contents; indeed, TPs are antioxidants that can scavenge free radicals and inhibit oxidation mechanisms and thus should be related to the antioxidant capacity of foods. However, the mean degree of oxidation (1.13 mg malondialdehyde (MDA)/kg) observed in the cooked egg yolks was well below the intake limit of 7.0 - 8.0 mg MDA/kg reported by Cadun et al.¹⁸

Quails fed CO laid eggs with lower TP contents; however, these eggs had higher DPPH levels, suggesting that non-phenolic substances with antioxidant activity were also present. In contrast, higher TP contents and lower DPPH levels were noted in the eggs of quails treated with SO. Antioxidant activity does not appear to be well correlated with TPs and may not explain all of the antioxidant activity.¹⁹

The use of refined CO in the quail feed may have also contributed to this result as this product contains highly stable synthetic antioxidants, such as butylated hydroxytoluene (BHT) and tert-butylhydroquinone (TBHQ) (as do all oils for human consumption), and natural antioxidant compounds (phenolic compounds and vitamin E).²⁰

Because there is little data available on DPPH levels and TPs in eggs (especially quail eggs), the results of this experiment were compared with those obtained with other foods.

Cooked eggs from quails fed SO, LO and CO had statistically significantly higher TP contents than raw eggs. Despite a lack of statistically significant differences ($P>0.05$) in DPPH levels, thermal processing increased the antioxidant capacity of the eggs regardless of the type of oil used in the birds' diet.

According to Campos et al.,²¹ the effects of cooking on the levels and activity of antioxidants in vegetables are still unclear. In general, studies show that cooking negatively affects the levels of phenolic compounds in vegetables; in some studies,

however, cooking facilitated the extraction of these compounds, resulting in higher levels of these compounds in cooked vegetables. The preparation method and the type of vegetable used affected the antioxidant capacity, and both decreases and increases in antioxidant activity were observed.

Melo et al.²² detected a decrease and an increase in DPPH in English potatoes and carrots, respectively, when these vegetables were cooked with moist heat (steam without pressure). Campos et al.²¹ mentioned that cooking has a negative effect on some antioxidant compounds; less severe cooking conditions (lower temperature, shorter time) could improve the nutritional value of certain vegetables.

Because the eggs were cooked with the shell intact, the leaching of egg TP contents into the boiling water may have been minimized, contributing to a higher TP content and an increased antioxidant activity (DPPH) in thermally processed quail eggs (Table 3).

According to Melo et al.,²² the increase in TP and DPPH levels in cooked quail eggs suggests that cooking can inactivate peroxidases that act as pro-oxidants or improve the antioxidant capacity of naturally occurring compounds; cooking may also favor the formation of new compounds (including Maillard reaction products) that have antioxidant properties.

Increased levels of TBARS were found in cooked quail eggs; however, this increase was not as high as that reported by Pita et al.,²³ who detected values of 570.6 and 109.6×10^{-6} mg MDA/kg egg yolk in the cooked and raw eggs, respectively, of hens fed linseed and CO (which corresponds to an increase of 421% in cooked eggs). In this study, an increase of only 27% was observed in the TBARS of cooked quail eggs; this finding may be attributed to the increase in and greater availability of antioxidant

substances resulting from the boiling process, as shown by the statistically significant increase in TP and DPPH.

The thermal processing of eggs from quails fed omega-3 sources resulted in decreased SFA and MUFA levels; increased PUFAs levels and their ratios; increased ALA, total n-6 and total n-3 levels; and reduced n-6:n-3 ratios that were closer to the ratio of 5:1 recommended for human consumption. Furthermore, despite an increase in the value of TBARS, cooked quail eggs had higher TP and DPPH levels.

Effect of Storage Temperature on Egg Quality. The interaction between the type of oils and the storage conditions had no effect on the FA profile of quail eggs (Table 4). The refrigeration of eggs for 35 days decreased the levels of SFAs and MUFAs in the eggs while preserving PUFA levels and their ratios and total n-6 levels.

Mazalli and Bragagnolo¹³ found statistically significant differences in MUFA and PUFA levels in eggs from hens supplemented with omega-3 FAs stored at 25°C and 5°C for 45 days; similar the findings of the present study that the levels of these compounds in the eggs of quails fed different types of oils changed with storage condition.

Hayat et al.²⁴ stored eggs from hens fed three types of feed (control diet [corn and soybean meal-based feed], the control diet supplemented with 10% flaxseed (FS) and the control diet supplemented with 10% FS and antioxidants (alpha-tocopherol [α -TOC] or BHT)) for a period of 20, 40 and 60 days at 4°C; and related a reduction in the levels of SFAs and PUFAs, especially after storage for 20 and 60 days, respectively, in the eggs of hens fed the control diet and in the eggs of hens fed the FS diet. Conversely, the levels of MUFAs in the eggs of hens receiving these diets were similar and greater at 20, 40 and 60 days of storage than the values observed for eggs not subjected to storage.

As found in this study, Hayat et al.²⁴ reported that the ALA content of chicken eggs was not altered by refrigeration storage time; the only exception occurred for the group receiving 10% FS + 150 mg BHT, as the eggs from these hens had higher levels at 20 and 40 days than at 0 and 60 days of storage. The DHA content of eggs from hens fed the control diet and the FS + antioxidant-supplemented feed remained stable throughout storage. However, decreases of 13 and 17% were observed in the DHA content of eggs from birds supplemented with lower amounts of antioxidants (50 mg BHT or 50 UI α -TOC), suggesting that these levels were unable to preserve DHA. A storage effect on the DHA content was observed only in the eggs of hens fed 10% FS + 150 UI α -TOC, as these eggs had reduced LA contents at 20 days of storage.

The storage of quail eggs for 35 days with and without refrigeration did not significantly alter ($P>0.05$) the LA, AA, ALA, EPA, DHA and total n-3 FA contents of the eggs. However, higher values of all of these FAs (except DHA) were observed in refrigerated quail eggs, which indicates that the nutritional quality of quail eggs improved significantly with refrigeration.

Botsoglou et al.¹⁴ reported that storage for 60 days at 4°C did not change the level of SFAs in the egg yolks of hens fed 4% sunflower oil or 4% LO; however, these eggs did have decreased proportions of PUFAs and MUFAs. Mazalli and Bragagnolo¹³ also reported that the storage of eggs from hens fed diets enriched with n-3 FAs in the form of LO at 5°C for 45 days reduced the concentration of PUFAs in the yolks. More specifically, total n-6 FA levels (especially LA) decreased in both groups of eggs, while total n-3 levels (especially ALA) decreased only in the eggs of hens fed LO.

The above-mentioned results contradict the findings of the present study on quail eggs; indeed, SFA and MUFA levels were reduced while PUFA levels and their ratios and total n-6 FA contents were higher in refrigerated eggs. This contradiction may

result from the fact that the eggs were stored for a shorter period of time in this study (35 days) than in other studies (45 and 60 days). In addition, the present experiment compared two storage conditions (with and without refrigeration), while the aforementioned studies compared fresh and stored eggs for specific refrigeration periods.

Of the oils used in quail nutrition, LO produced the highest egg levels of ALA, EPA and DHA (Table 4).

Quails offered feeds containing CO laid eggs with lower levels of SFAs and higher levels of MUFAs, resulting in an increase in the ratio of these two FAs. However, quails fed LO (which is rich in n-3 PUFAs) laid eggs with MUFA concentrations that were 8% lower (though not significantly different - $P>0.05$) than those in the eggs laid by quails fed CO. Cherian and Sim²⁵ reported that the dietary excess of n-3 PUFAs inhibits oleic acid (MUFA)-forming enzymatic activity, thus reducing oleic acid and MUFA concentrations in egg yolks.

Baucells et al.¹⁷ reported that yolk MUFA levels were 5% higher when dietary FO was completely replaced with CO or tallow; however, the MUFA levels in these diets were, respectively, 90% higher or 60% lower than the levels found in the diet containing only FO. Pita et al.⁴ also reported that hens fed CO (which is rich in MUFAs) laid eggs with the highest levels of these fatty acids, while intermediary levels were found in the eggs of groups fed LO and fish (salmon or sardine + tuna) oil. This finding corroborates the results of the present study, as significantly ($P<0.05$) higher levels of MUFAs (approximately 5% greater) were found in eggs from quails supplemented with CO than in eggs from quails receiving FO (Table 4).

The lower levels of AA (a long-chain derivative of LA) found in the eggs of quails fed LO can be explained by the marked increase in the contents of ALA and,

consequently, its long-chain derivatives (EPA and DHA) in the eggs of birds receiving this oil in the feed. Pita et al.⁴ offered feeds supplemented with 3% corn, salmon or sardine + tuna oils and SO, CO or LO to laying hens; and also reported that the eggs from the birds fed LO had AA contents that were similar to those found in the eggs laid by birds fed both types of FO. Martin et al.¹⁶ showed that an excess of dietary n-6 fatty acids could inhibit the metabolism of ALA even though the n-3 fatty acids are usually more efficient at inhibiting the metabolism of n-6 fatty acids; indeed, desaturase enzymes ($\Delta 5$ and $\Delta 6$) tend to prefer n-3 fatty acids over n-6 fatty acids.

The n-6:n-3 ratio of quail eggs was altered by dietary supplementation with oils, and the ratio obtained by supplementation with LO (3.42) was closest to the recommended ratio for human consumption (3:1 to 5:1); the ratios obtained with SO, FO and CO were 16.42, 10.39 and 7.63. Although the minimum intake rates of n-3 and n-6 PUFAs that would meet the recommended human requirements have not yet been precisely established, Martin et al.¹⁶ reported that a dietary n-6:n-3 ratio of 4:1 resulted in a 70% decrease in the mortality of patients with cardiovascular disease; similarly, a reduction in inflammation resulting from rheumatoid arthritis was observed when this dietary ratio was between 3:1 and 4:1. Additionally, a ratio of 5:1 resulted in a decrease in asthma-related symptoms, and a ratio of 10:1 resulted in an intensification of symptoms.

Çitil et al.⁵ also reported that the n-6:n-3 ratio was lower in the eggs of Japanese quails fed three LO inclusion levels (1.0, 2.0 and 3.0%) than in the eggs of birds receiving the control diet (without LO). The control diet produced an n-6:n-3 ratio of 20.60, while the other treatments (1.0; 2.0 and 3.0% LO) resulted in ratios of 11.25, 8.25 and 5.74, respectively. This finding shows that the use of LO in bird feed can make eggs a food source with a more balanced FA content and higher levels of n-3 FAs.

The interaction between storage temperature and type of oils used in quail feed significantly affected DPPH and TP contents, while the level of TBARS in eggs was only affected by the storage condition (Table 5).

Storage for 35 days under refrigeration resulted in decreased DPPH content, greater TPs and a decreased formation of MDA (TBARS), indicating a better preservation of the quality of eggs. The reduction in DPPH content of refrigerated quail eggs may have contributed to the greater oxidative stability of the eggs.

Quails fed feeds containing CO laid eggs with higher TP contents, although there was a strong reduction (41%) in the levels of these substances when the eggs were stored for 35 days without refrigeration. Supplementation with FO resulted in a higher TP content in non-refrigerated eggs than in eggs laid by quails fed other types of oil.

The refrigerated eggs from quails fed LO and CO had unaltered DPPH values and higher TP levels. Similarly, Daiuto et al.,²⁶ who assessed ‘Hass’ avocado fruits maintained without refrigeration ($24 \pm 1^{\circ}\text{C}$ and $70 \pm 5\%$ relative humidity: RH) and with refrigeration ($10 \pm 1^{\circ}\text{C}$ and $90 \pm 5\%$ RH) every three days for 15 days, found that refrigerated fruits had higher DPPH and TP levels at the end of the storage period. According to Robards et al.,²⁷ the decrease in the amount of phenols in foods maintained without refrigeration may be attributed to the oxidation of phenols by phenoloxidases and to the polymerization of free phenols.

Quail eggs stored without refrigeration had 34% higher TBARS levels, even though the temperature did not exceed 25°C (refer to Materials and Methods – Condition 1: $18.8 \pm 2.0^{\circ}\text{C}$); this finding indicates that a loss of egg quality resulting from the greater formation of free radicals that induce lipid peroxidation and consequent MDA production had occurred.

During storage, eggs undergo various enzymatic reactions (including lipid oxidation) that contribute to the loss of quality. Such losses occur more rapidly when the egg is stored under inadequate conditions of temperature and humidity. Chicken eggs stored for 0, 7, 14 and 21 days without refrigeration (25°C) showed a gradual increase in the degree of yolk lipid oxidation until 14 days of storage. Fresh eggs had TBARS values of 0.1343 mg MDA/kg yolk, and these values increased to 0.1698 and 0.2138 when the eggs were stored for 7 and 14 days, respectively. It therefore appears that the storage of chicken eggs without refrigeration does not adequately preserve the internal quality of eggs.²⁸

Hayat et al.²⁴ found that storage for 60 days at 4°C did not affect the TBARS values of chicken eggs, while the diet significantly affected this value ($P < 0.05$); the highest TBARS levels (0.29 mg MDA/g) were encountered in the eggs of birds treated with flaxseed (without antioxidants), while the lowest value was detected in the control treatment (0.08 mg MDA/g). The type and level of antioxidant had a minimal effect on the TBARS levels of eggs.

The degree of oxidation of quail eggs was not significantly altered ($P > 0.05$) by the omega-3 sources provided in the feed; however, a higher TBARS value (1.34 mg/kg yolk) was found in eggs from quails fed LO, which may be explained by the lower levels of TPs (Table 5) with antioxidant properties and a significantly ($P < 0.05$) higher n-3 PUFA content (Table 4) in the eggs of birds in this treatment.

Faitarone³ reported that after ten days of storage without refrigeration, eggs from hens provided feed with no oil or 2.5% SO supplementation had lower (but not statistically significantly different) TBARS values (0.17 and 0.15 mg MDA/kg yolk, respectively) than the eggs from hens fed 5% LO (0.30 mg/kg) and 2.5% CO+ 2.5% SO (0.29 mg/kg). Similarly, the TBARS levels of eggs from the quails fed LO in this

experiment were 11% higher than (but not statistically significantly different from) those of the eggs from quails fed the other oils; this finding indicates that lipid peroxidation occurred, most likely due to the presence of a greater amount of n-3 PUFAs (especially ALA and its long-chain derivatives EPA and DHA) in the yolks of eggs from quails fed this oil.

Because the TBARS level is an indicator of the extent of lipid oxidation, it is a key quality index. According to Cadun et al.,¹⁸ foods with TBARS values below 3 mg MDA/kg are considered to be of excellent quality; foods in good conditions should not have a value higher than 5. Therefore, the results of this study showed that quail eggs (which had a mean TBARS value of 1.24 mg MDA/kg yolk) are suitable for consumption, even when stored for 35 days without refrigeration.

Storage for 35 days affected the quality of quail eggs, and storage under refrigeration led to a better preservation of PUFA, total n-6 FA and TP levels and of PUFA:MUFA and PUFA:SFA ratios. In addition, refrigerated eggs had greater oxidative stability, as measured by the lower levels of MDA (TBARS); conversely, the DPPH levels were lower in refrigerated eggs than in eggs stored without refrigeration.

Of all the oils used in this study, LO promoted the greatest enrichment of eggs with omega-3 FAs (especially with ALA, a precursor of EPA and DHA).

According to the Board Resolution (Resolução da Diretoria Colegiada - RDC) of the National Health Surveillance Agency (Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA) No. 54/2012 regulating the criteria used on food labels claiming functional and/or health-promoting properties,²⁹ the quail eggs produced in this study originating from birds fed 2% linseed oil and/or 2% canola oil may be considered sources of omega-3 fatty acids as they contain at least 40 mg of the sum of EPA and DHA per serving (Table 6).

Furthermore, because the Food and Agricultural Organization (FAO) of the United Nations and the World Health Organization (WHO) recommended an intake of 250 mg EPA + DHA/day for adult men and women (but not pregnant or lactating women) in 2010,³⁰ the daily consumption of a serving (five units) of eggs from quails fed feed supplemented with 2% linseed oil can be recommended based on this study, and a serving (5 units) of cooked eggs is indicated. Alternatively, 1.5 servings of eggs per day could be recommended if the eggs are stored for 35 days as a loss of these fatty acids occurs during storage (Table 6).

It can be concluded that thermal processing (boiling) of eggs from quails fed omega-3 sources increased the levels of PUFAs (especially ALA), reduced the levels of SFAs and promoted an n-6:n-3 ratio that is more balanced for human consumption, despite having caused an increase in the degree of oxidation. The reduction in the oxidative stability of quail eggs subjected to cooking was not exacerbated because the greater availability of phenolic compounds and the increase in antioxidant capacity caused by this thermal processing. The storage of eggs from quails fed feeds supplemented with omega-3 sources under refrigeration for 35 days resulted in an increase in the level of phenolic compounds and a greater oxidative stability despite a reduction in antioxidant capacity; however, the levels of PUFAs and their ratios with SFAs and MUFAs remained unaltered.

ABBREVIATIONS USED

n-3 PUFAs, omega-3 polyunsaturated fatty acids; n-6, omega-6; n-3, omega-3; SO, soybean oil; LO, linseed oil; FO, fish oil; CO, canola oil; TBARS, Thiobarbituric acid reactive substances; DPPH, 1,1-Diphenyl-2-picrylhydrazyl; FA, fatty acid; SFA, saturated fatty acids; MUFA, monounsaturated fatty acids; PUFA, polyunsaturated fatty acids; ALA, linolenic acid; EPA, eicosapentaenoic acid; DHA, docosahexaenoic acid;

LA, linoleic acid; AA, arachidonic acid; TP, total phenolic; MDA, malondialdehyde; BHT, butylated hydroxytoluene; TBHQ, tert-butylhydroquinone; FS, flaxseed; α -TOC, alpha-tocopherol

REFERENCES

(1) Molendi-Coste, O.; Legry, V.; Leclercq, I. A. Why and how meet n-3 PUFA dietary recommendations? *Gastroenterol. Res. Pract.* **2011**, 1-11. <http://www.hindawi.com/journals/grp/2011/364040/cta/> (accessed Jan 30, 2013).

(2) Bourre, J.-M. Where to find omega-3 fatty acids and how feeding animals with diet enriched in omega-3 fatty acids to increase nutritional value of derived products for human: what is actually useful? *J. Nutr., Health Aging* **2005**, 9, 232-242.

(3) Faitarone, A. B. G. Fornecimento de Fontes Lipídicas na Dieta de Poedeiras e Seus Efeitos Sobre o Desempenho, Qualidade dos Ovos, Perfil de Ácidos Graxos e Colesterol na Gema. [Supply of Lipid Sources in the Diet of Laying Hens and Its Effects on Performance, Egg Quality, Fatty Acid Profile and Cholesterol in the Yolk]. Ph.D. Thesis, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.

(4) Pita, M. C. G.; Carvalho, P. R.; Piber Neto, E.; Mendonça Júnior, C. X. Vegetable and marine sources of supplementaries PUFAS in the diet of laying hens: effect on lipid composition of the plasma and of the egg yolk and time of incorporation of omega 6 PUFAS. *J. Appl. Sci. Res.* **2011**, 7, 654-671.

(5) Çitil, O. B.; Yildirim, I.; Parlat, S. S. The effects of dietary flaxseed oil supplementations on fatty acids composition of the yolks in quail (*Coturnix coturnix japonica*) eggs. *Kafkas Univ. Vet. Fak. Derg.* **2011**, 17, 761-766.

(6) Nimalaratne, C.; Lopes-Lutz, D.; Schieber, A.; Wu, J. Free aromatic amino acids in egg yolk show antioxidant properties. *Food Chem.* **2011**, 129, 155-161.

- (7) Bertechini, A. G. Situação atual e perspectivas para a coturnicultura no Brasil [Current situation and perspectives for quail farming in Brazil]. In *Anais do 4. Simpósio Internacional/3. Congresso Brasileiro de Coturnicultura* [Proceedings of the 4th International Symposium/3rd Brazilian Meeting of Quail Farming]. Bertechini, A.G.; Meneghetti, C.; Bernardino, V. M.; Reis, M. P.; Garcia Jr., A. A. P., Eds.; Federal University of Lavras/ Department of Animal Science: Lavras, Brazil, 2010; pp. 9-14.
- (8) Rostagno, H. S.; Albino, L. F. T.; Donzele, J. L.; Gomes, P. C.; Oliveira, R. F. M.; Lopes, D. C.; Ferreira, A. S.; Barreto, S. L. T. In *Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos: Composição de Alimentos e Exigências Nutricionais* [Brazilian tables for poultry and pigs: food composition and nutritional requirements] Rostagno, H. S., Ed.; Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Zootecnia: Viçosa, Brazil, 2011; pp. 161-166.
- (9) Wang, Y.; Sunwoo, H.; Cherian, G.; Sim, J. S. Fatty acid determination in chicken egg yolk: a comparison of different methods. *Poult. Sci.* **2000**, *79*, 1168-1171.
- (10) Kang, K. R.; Cherian, G.; Sim, J. S. Dietary palm oil alters the lipid stability of polyunsaturated fatty acid-modified poultry products. *Poult. Sci.* **2001**, *80*, 228-234.
- (11) Singleton, V. L.; Orthofer, R.; Lamuela-Raventos, R. M. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods Enzymol.* **1999**, *299*, 152-178.
- (12) Bloor, S. J. Overview of methods for analysis and identification of flavonoids. *Methods Enzymol.* **2001**, *335*, 3-14.
- (13) Mazalli, M. R.; Bragagnolo, N. Increase of cholesterol oxidation and decrease of pufa as a result of thermal processing and storage in eggs enriched with n-3 fatty acids. *J. Agric. Food Chem.* **2009**, *57*, 5028-5034.

(14) Botsoglou, E.; Govaris, A.; Pexara, A.; Fletouris, D. Effect of processing and storage on the fatty acid composition of n-3 or n-6 fatty acid-enriched eggs. *Int. J. Food Sci. Technol.* **2012**, *47*, 2388–2396.

(15) Ferreira, M. W.; Bressan, M. C.; Souza, X. R.; Oliveira e Vieira, J.; Faria, P. B.; Andrade, P. L. Efeito dos métodos de cocção sobre a composição química e perfil lipídico de filés de tilápia do nilo (*Oreochromis niloticus* Linnaeus 1757) [Effects of cooking method on chemical composition and fat profile of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus* Linnaeus 1757) fillets]. *Ciênc. Agrotéc.* **2007**, *31*, 798-803.

(16) Martin, C. A.; Almeida, V. V.; Ruiz, M. R.; Visentainer, J. E. L.; Matsushita, M.; Souza, N. E.; Visentainer, J. V. Ácidos graxos poliinsaturados ômega-3 e ômega-6: importância e ocorrência em alimentos [Omega-3 and omega-6 polyunsaturated fatty acids: importance and occurrence in foods]. *Rev. Nutr.* **2006**, *19*, 761-770.

(17) Baucells, M. D.; Crespo, N.; Barroeta, A. C.; Lopez-Ferrer, S.; Grashorn, M. A. Incorporation of different polyunsaturated fatty acids into eggs. *Poult. Sci.* **2000**, *79*, 51–59.

(18) Cadun, A.; Cakli, S.; Kislá, D. A study of marination of deepwater pink shrimp (*Parapenaeus longirostris*, Lucas, 1846) and its shelf life. *Food Chem.* **2005**, *90*, 53-59.

(19) Krishnan, P. G.; Halaweish, F. Total phenolics and antioxidant activity of canola grown in the north central region. In *American Association of Cereal Chemists International Meeting, World Grains Summit: Food and Beverages*, San Francisco, CA, 2006. www.mediafire.com/?rl37v56ddhtm35a (accessed Jul 4 2012).

(20) Ramalho, V. C.; Jorge, N. Antioxidantes utilizados em óleos, gorduras e alimentos gordurosos [Antioxidants used in oils, fats and fatty foods]. *Quím. Nova* **2006**, *29*, 755-760.

(21) Campos, F. M.; Martino, H. S. D.; Sabarense, C. M.; Pinheiro-Sant'ana, H. M. Estabilidade de compostos antioxidantes em hortaliças processadas: uma revisão [Stability of antioxidant compounds in processed vegetables: a review]. *Aliment. Nutr.* **2008**, *19*, 481-490.

(22) Melo, E. A.; Maciel, M. I. S.; Lima, V. L. A. G.; Santana, A. P. M. Capacidade antioxidante de hortaliças submetidas a tratamento térmico [Antioxidant capacity of vegetables submitted to thermal treatment]. *Rev. Soc. Bras. Aliment. Nutr.* **2009**, *34*, 85-95.

(23) Pita, M. C. G.; Piber Neto, E.; Mendonça Jr., C. X. Efeito da suplementação de linhaça, óleo de canola e vitamina E na dieta sobre a oxidação dos ácidos graxos na gema dos ovos de galinhas poedeiras [Effect of supplementation of flaxseed, canola oil and vitamin E on diet in fatty acids oxidation of egg yolk laying hens]. *Braz. J. Vet. Res. Anim. Sci.* **2008**, *45*, 27-32.

(24) Hayat, Z.; Cherian, G.; Pasha, T. N.; Khattak, F. M.; Jabbar, M. A. Oxidative stability and lipid components of eggs from flax-fed hens: effect of dietary antioxidants and storage. *Poult. Sci.* **2010**, *89*, 1285-1292.

(25) Cherian, G. Sim, J. S. Effect of feeding full fat flax and canola seeds to laying hens on the fatty acid composition of eggs, embryos, and newly hatched eggs. *Poult. Sci.* **1991**, *70*, 917-922.

(26) Daiuto, E. R.; Cabia, N. C.; Fumes, J. G. F.; Vieites, R. L.; Carvalho, L. R.; Garcia, M. R. Capacidade anti radical livre e qualidade pós colheita de abacate 'Hass'

563 [Anti free radical scavenger activity and postharvest quality of ‘Hass’ avocado]. *Rev.*
564 *Bras. Prod. Agroindustr.* **2012**, 14, 51-62.

565 (27) Robards, K.; Prenzler, P. D.; Tucker, G.; Swatsitang, P.; Glover, W.
566 Phenolic compounds and their role in oxidative processes in fruits. *Food Chem.* **1999**,
567 66, 401-436.

568 (28) Giampietro, A.; Scatolini A. M.; Boiago, M. M.; Coró, D. M. O.; Souza, H.
569 B. A.; Souza, P. A.; Lima, T. M. A.; Pizzolante, C. C. Estudo da metodologia de
570 TBARS em ovos [TBARS methodology study in eggs]. *Rev. Prod. Animal/Avicultura.*
571 [Online] **2008**. http://www.avisite.com.br/cet/img/20080506_alinetbars.pdf (accessed
572 May 22, 2011).

573 (29) Brasil. ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução
574 RDC nº 54/2012, de 12 de novembro de 2012 – Dispõe sobre o Regulamento Técnico
575 sobre Informação Nutricional Complementar [National Health Surveillance Agency.
576 RDC Resolution No. 54/2012, from November 12, 2012 - Provides on the Technical
577 Regulation regarding Complementary Nutritional Information].
578 [http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/630a98804d7065b981f1e1c116238c3b/Re](http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/630a98804d7065b981f1e1c116238c3b/Resolucao+RDC+n.+54_2012.pdf?MOD=AJPERES)
579 [solucao+RDC+n.+54_2012.pdf?MOD=AJPERES](http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/630a98804d7065b981f1e1c116238c3b/Resolucao+RDC+n.+54_2012.pdf?MOD=AJPERES) (Apr 16, 2013).

580 (30) FAO/WHO. Food and Agriculture Organization of the United
581 Nations/World Health Organization. Report of an expert consultation on Fats and fatty
582 acids in human nutrition. *Food Nutri.* **2010**, 91, 9-20.
583 <http://www.fao.org/docrep/013/i1953e/i1953e00.pdf> (Oct 11, 2013).

584 (31) Hartman, L.; Lago, B. C. A. Rapid preparation of fatty acid methyl esters
585 from lipids. *Lab. Pract.* **1973**, 22, 475-477.

FUNDING

586 The authors thank FAPEMIG, Brazil for funding this research and granting research
587 initiation fellowships

Table 1

Percentage composition, chemical composition and nutritional values of the experimental feeds in fresh matter for laying Japanese quails

ingredients	soybean oil	linseed oil	fish oil	canola oil
corn grains	54.921	54.921	54.921	54.921
soybean meal (45%)	34.049	34.049	34.049	34.049
oil	2.000	2.000	2.000	2.000
limestone	6.860	6.860	6.860	6.860
dicalcium phosphate	1.093	1.093	1.093	1.093
common salt	0.333	0.333	0.333	0.333
DL-methionine (99%)	0.341	0.341	0.341	0.341
L-lysine HCL (79%)	0.140	0.140	0.140	0.140
L-tryptophan (99%)	0.004	0.004	0.004	0.004
choline chloride (60%)	0.100	0.100	0.100	0.100
vitamin supplement ^a	0.100	0.100	0.100	0.100
mineral supplement ^b	0.050	0.050	0.050	0.050
antioxidant ^c	0.010	0.010	0.010	0.010
total	100.00	100.00	100.00	100.00
calculated composition				
metabolizable energy (kcal/kg)	2.800	2.800	2.800	2.800
crude protein (%)	20.00	20.00	20.00	20.00
methionine + digestible cystine (%)	0.894	0.894	0.894	0.894
digestible lysine (%)	1.090	1.090	1.090	1.090
digestible threonine (%)	0.683	0.683	0.683	0.683
digestible tryptophan (%)	0.229	0.229	0.229	0.229
digestible arginine (%)	1.287	1.287	1.287	1.287
digestible valine (%)	0.849	0.849	0.849	0.849
digestible isoleucine (%)	0.797	0.797	0.797	0.797
calcium (%)	3.000	3.000	3.000	3.000
available phosphorus (%)	0.310	0.310	0.310	0.310
sodium (%)	0.150	0.150	0.150	0.150
analyzed composition (%)^d				
palmitic acid (c16:0)	33.99	13.93	15.63	14.65
stearic acid (c18:0)	5.69	2.09	2.24	2.30
oleic acid (c18:1)	12.67	24.25	20.98	29.93
linoleic acid (c18:2 n-6)	30.67	27.27	55.30	48.42
linolenic acid (c18:3 n-3)	2.88	11.29	3.66	4.43
n-6:n-3 ratio	10.65	4.19	15.11	10.93

^aComposition/kg product: Vit. A:12,000,000 I.U., Vit D₃:3,600,000 I.U., Vit. E: 3,500 I.U., Vit B₁: 2,500 mg, Vit B₂: 8,000 mg, Vit B₆:5,000 mg, Pantothenic acid: 12,000 mg, Biotin: 200 mg, Vit. K: 3,000 mg, Folic acid: 1,500 mg, Nicotinic acid: 40,000 mg, Vit. B₁₂: 20,000 mg, Selenium: 150 mg, Vehicle q.s.: 1,000 g; ^bComposition/kg product: Mn: 160 g, Fe: 100 g, Zn: 100 g, Cu: 20 g, Co: 2 g, I: 2 g, Vehicle q.s.: 1000 g; ^cButylated hydroxytoluene, BHT (99%).^dGas chromatography.³¹

Table 2

Profile of saturated fatty acids (SFA), monounsaturated fatty acids (MUFA), polyunsaturated fatty acids (PUFA), linoleic acid (LA, C18:2 n-6), arachidonic acid (AA, C20:4 n-6), linolenic acid (ALA, C18:3 n-3), eicosapentaenoic acid (EPA, C20:5 n-3), docosahexaenoic acid (DHA, C22:6 n-3), total n-6, total n-3 and their ratios in egg yolks subjected or not to thermal processing from quails offered feed supplemented with different omega-3 fatty acid sources

omega-3 source	total fatty acids (%) and their ratios													
	SFA	MUFA	PUFA	MUFA/SFA	PUFA/SFA	PUFA/MUFA	LA	AA	ALA	EPA	DHA	n-6	n-3	n-6:n-3
soybean oil	38.17 ^A	38.81 ^A _B	20.83	1.02 ^B	0.56	0.55 ^{AB}	14.40 ^A	3.81	0.98	nd	0.67	19.18	1.65 ^B	16.6 ^A
linseed oil	33.79 ^B	34.83 ^B	25.20	1.02 ^B	0.81	0.83 ^A	9.77 ^B	1.87	3.89	3.45 ^A	2.26	15.60	9.60 ^A	2.28 ^B
fish oil	36.86 ^{AB}	37.31 ^B	21.98	1.01 ^B	0.61	0.61 ^{AB}	13.07 ^A	3.11	3.13	nd	0.61	18.24	3.74 ^B	5.57 ^B
canola oil	33.67 ^B	42.65 ^A	20.66	1.27 ^A	0.63	0.50 ^B	10.99 ^A	4.75	1.41	0.64 ^B	1.33	17.28	3.38 ^B	6.40 ^B
p value	0.0343	0.0066	0.3211	<0.0001	0.1678	0.0462	0.0077	0.0615	0.1887	0.0165	0.4520	0.2868	0.0009	0.0003
heat treatment														
raw	38.37	39.72	18.86	1.09	0.50	0.46	12.48	3.07	1.06	0.48	1.08	16.23	2.62	9.23
cooked	32.87 ^a	37.89 ^a	25.50 ^a	1.07	0.81 [*]	0.78 [*]	11.63	3.70	3.64 ^a	1.57	1.36	18.91 ^a	6.57 ^a	5.72 ^a
p value	0.0001	0.0001	0.0019	0.6077	0.0007	0.0007	0.3718	0.3965	0.0221	0.1913	0.7322	0.0540	0.0042	0.0362
SEM	3.45	4.06	5.37	0.10	0.23	0.24	2.62	2.05	2.98	2.28	2.27	3.74	3.53	5.10

^{A-B} Means followed by different letters differed according to Tukey's test (P<0.05).

^aDifferent according to the F test (P<0.05).

nd, non-detected.

n = 48; analyses in quadruplicates.

Saturated (16:0; 18:0); Monounsaturated (16:1; 18:1); Polyunsaturated (18:2; 18:3 n-6; 20:2; 20:3; 20:4; 22:2; 18:3 n-3; 20:5; 22:6; 22:5) fatty acids; Total n-6 (18:2; 18:3; 20:2; 20:3; 20:4; 22:2); Total n-3 (18:3; 20:5; 22:6; 22:5).

The SEM's for each group are the same because they were calculated with SAS using a generalized linear model to determine SEM with a common error term (e.g., rootMSE). Because the total number for each group was similar, the SEMs did not change.

Table 3

Means ($\pm$ standard deviation) of antioxidant capacity (DPPH), phenolic compounds and oxidative stability (TBARS) of egg yolks subjected to thermal processing or not from quails supplemented with different omega-3 fatty acid sources

thermal processing	soybean oil	linseed oil	fish oil	canola oil	mean
DPPH (%)					
raw	5.33 (± 0.58)	6.03 (± 0.38)	6.46 (± 0.28)	7.01 (± 0.82)	6.20
cooked	7.05 (± 0.31)	7.02 (± 0.52)	6.56 (± 0.28)	7.79 (± 0.30)	7.11*
mean	6.19 ^B	6.53 ^B	6.51 ^B	7.40 ^A	CV = 7.26
phenolic compounds (mg gallic acid equivalent /100 g egg yolk)					
raw	24.14 ^{B b} (± 0.67)	20.71 ^{C b} (± 0.83)	27.54 ^{A a} (± 1.50)	22.84 ^{B b} (± 0.31)	23.81
cooked	34.06 ^{A a} (± 1.16)	26.88 ^{B a} (± 0.38)	24.33 ^{C b} (± 0.36)	26.26 ^{B a} (± 0.31)	27.88*
mean	29.10 ^A	23.79 ^C	25.94 ^B	24.55 ^C	CV = 3.20
TBARS (mg/kg yolk)					
raw	0.80 (± 0.03)	0.84 (± 0.00)	0.92 (± 0.03)	1.01 (± 0.05)	0.89
cooked	1.16 (± 0.08)	1.12 (± 0.12)	1.11 (± 0.07)	1.13 (± 0.23)	1.13*
mean	0.98	0.98	1.01	1.07	CV = 12.53

*Different according to the F test ($P < 0.05$).

^{a, b} Means followed by different letters in columns differ according to Tukey's test ($P < 0.05$).

^{A-C} Means followed by different letters in rows differ according to Tukey's test ($P < 0.05$).

CV, Coefficient of variation (%).

DPPH and Phenolic compounds: analysis in triplicates.

TBARS: analysis in eight replicates.

Table 4

Profile of saturated fatty acids (SFA), monounsaturated fatty acids (MUFA), polyunsaturated fatty acids (PUFA), linoleic acid (LA, C18:2 n-6), arachidonic acid (AA, C20:4 n-6), linolenic acid (ALA, C18:3 n-3), eicosapentaenoic acid (EPA, C20:5 n-3), docosahexaenoic acid (DHA, C22:6 n-3), total n-6, total n-3 and their ratios in egg yolks stored under two different conditions for 35 days from quails offered feed supplemented with different omega-3 sources

omega-3 source	total fatty acids (%) and their ratios													
	SFA	MUFA	PUFA	MUFA/SFA	PUFA/SFA	PUFA/MUFA	AL	AA	ALA	EPA	DHA	n-6	n-3	n-6:n-3
soybean oil	38.88 ^A	38.12 ^{AB}	20.85	0.98 ^B	0.54	0.55	15.10 ^A	3.52 ^A	0.22 ^B	0.11 ^B	0.58 ^A	19.93	0.91 ^B	16.42 ^A
linseed oil	35.27 ^B	37.36 ^{AB}	23.82	1.05 ^B	0.71	0.70	13.26 ^A	2.26 ^B	2.64 ^A	1.88 ^A	1.17 ^A	18.14	5.68 ^A	3.42 ^C
fish oil	36.39 ^{AB}	35.83 ^B	22.46	0.99 ^B	0.63	0.64	13.11 ^{AB}	3.55 ^A	0.46 ^B	nd	0.44 ^A	20.49	1.97 ^B	10.39 ^B
canola oil	35.30 ^B	40.67 ^A	19.41	1.15 ^A	0.56	0.50	10.77 ^B	3.13 ^{AB}	1.34 ^{AB}	0.44 ^B	1.07 ^A	17.63	1.78 ^B	7.63 ^B
p value	0.0269	0.0396	0.0988	<0.0001	0.1696	0.1849	<0.0001	0.0232	0.0073	0.0029	0.0473	0.2602	<0.0001	0.0002
storage condition														
without refrigeration	37.59	39.71	19.71	1.06	0.53	0.51	12.97	2.91	0.87	0.30	0.90	17.63	2.07	9.14
with refrigeration	35.32 [*]	36.27 [*]	23.54 [*]	1.03	0.69 [*]	0.68 [*]	13.16	3.32	1.46	0.91	0.73	20.46 [*]	3.10	9.23
p value	0.0180	0.0051	0.0046	0.2147	0.0074	0.0142	0.6688	0.2011	0.2481	0.1087	0.4076	0.0202	0.0898	0.9617
SEM	3.19	4.02	4.44	0.09	0.19	0.24	1.48	1.11	1.76	1.28	0.73	4.05	2.04	5.19

^{A-C} Means followed by different letters differ according to Tukey's test (P<0.05).

^{*} Different according to the F test (P<0.05).

nd, non-detected.

n = 48; analysis in six replicates.

Saturated (16:0; 18:0); Monounsaturated (16:1; 18:1); Polyunsaturated (18:2; 18:3 n-6; 20:2; 20:3; 20:4; 22:2; 18:3 n-3; 20:5; 22:6; 22:5) fatty acids; Total n-6 (18:2; 18:3; 20:2; 20:3; 20:4; 22:2); Total n-3 (18:3; 20:5; 22:6; 22:5).

The SEM's for each group are the same because they were calculated with SAS using a generalized linear model to determining SEM with a common error term (e.g., rootMSE). Because the total number for each group was similar, the SEM did not change.

Table 5

Means ($\pm$ standard deviation) of antioxidant capacity (DPPH), phenolic compounds and oxidative stability (TBARS) of egg yolks stored for 35 days with or without refrigeration from quails offered feed supplemented with different omega-3 fatty acid sources

storage condition	soybean oil	linseed oil	fish oil	canola oil	mean
DPPH (%)					
without refrigeration	7.08 ^{A a} (± 1.24)	7.83 ^{A a} (± 0.41)	7.47 ^{A a} (± 0.70)	6.93 ^{A a} (± 0.19)	7.33
with refrigeration	4.51 ^{B b} (± 0.68)	7.04 ^{A a} (± 1.22)	5.43 ^{B b} (± 0.43)	7.40 ^{A a} (± 0.33)	6.10*
mean	5.80 ^B	7.43 ^A	6.45 ^{AB}	7.17 ^A	CV = 11.13
phenolic compounds (mg gallic acid equivalent /100 g egg yolk)					
without refrigeration	9.91 ^{C b} (± 0.34)	12.04 ^{B b} (± 0.11)	19.85 ^{A a} (± 0.39)	12.35 ^{B b} (± 0.15)	13.54
with refrigeration	18.68 ^{B a} (± 0.33)	13.66 ^{C a} (± 0.15)	12.73 ^{D b} (± 0.06)	21.06 ^{A a} (± 0.58)	16.53*
mean	14.29 ^C	12.85 ^D	16.29 ^B	16.71 ^A	CV = 2.06
TBARS (mg/kg egg yolk)					
without refrigeration	1.34 (± 0.40)	1.53 (± 0.30)	1.38 (± 0.44)	1.42 (± 0.30)	1.42
with refrigeration	1.08 (± 0.22)	1.14 (± 0.12)	1.03 (± 0.13)	1.00 (± 0.13)	1.06*
mean	1.21	1.34	1.21	1.21	CV = 22.58

*Different according to the F test ($P < 0.05$).

^{a, b} Means followed by different letters in columns differ according to Tukey's test ($P < 0.05$).

^{A-D} Means followed by different letters in rows differ according to Tukey's test ($P < 0.05$).

CV, Coefficient of variation (%).

DPPH and Phenolic compounds: analysis in triplicates.

TBARS: analysis in duplicates.

Table 6

Comparison of the mean values of EPA + DHA (mg) in the eggs of quails fed diets supplemented with different oils as sources of omega-3 fatty acids, the daily requirements (mg) and the percentage of requirements resulting from the intake of a daily serving of quail eggs

	sources of omega 3 supplemented in the diet of quails			
	soybean oil	linseed oil	fish oil	canola oil
EPA + DHA in cooked quail eggs (mg)	7.30	62.18	6.64	21.45
EPA + DHA in quail eggs stored for 35 days (mg)	7.51	33.21	4.79	16.43
EPA + DHA (mg) in 1 serving (5 quail eggs)^a	36.50 / 37.55	310.90 / 166.05	33.20 / 23.95	107.25 / 82.15
cooked/stored daily requirements (mg)^b	250	250	250	250
% requirements obtained with the intake of 1 serving cooked/stored	14.6 / 15.0	124.4 / 66.4	13.3 / 9.6	42.9 / 32.9

This analysis considered the mean weight of egg yolk obtained in this experiment (3.63 g) and a percentage of lipids of 30% (data based on the literature) for the purposes of calculations; therefore, 1 quail egg yolk = 1,089 mg of lipids.

^aBrazil. Resolution RDC N° 359, from December 23, 2003. The Board of ANVISA / MS approves the technical regulation of packaged food servings for the purposes of nutrition labeling. Diário Oficial da União [Official Gazette of the Brazilian Federation]. Dec 26, 2003; (251): 28; Section 1. ^bFAO/WHO.³⁰

CONCLUSÕES GERAIS

Os resultados do presente estudo permitiram concluir que a substituição total do óleo de soja pelo óleo de linhaça ou a utilização de fontes de ômega 3 em rações para codornas japonesas em postura:

- não prejudica o desempenho zootécnico nem tampouco as características físicas de qualidade interna e externa dos ovos;
- causa aumento da intensidade da coloração amarela da gema, especialmente a utilização de maiores níveis de óleo de linhaça ou a inclusão de óleo de peixe ou de canola nas rações;
- a incorporação de ácidos graxos poli-insaturados na gema ocorre após um tempo médio de 20 dias de alimentação das rações enriquecidas.

Nesta pesquisa, dentre os níveis de óleo de linhaça ou os tipos de óleos fonte de ômega 3 (soja, linhaça, peixe ou canola) usados na alimentação das codornas, constatou-se que a utilização do nível de 2% do óleo de linhaça promove maior enriquecimento dos ovos com ômega 3, especialmente com ácido linolênico, e este por ser um bom precursor dos ácidos eicosapentaenoico (EPA) e docosahexaenoico (DHA), estes também foram incorporados aos ovos.

Ao considerar que a ingestão recomendada para adultos, homens e mulheres, exceto grávidas ou lactantes, é de 250 mg/dia de EPA + DHA, é possível sugerir, a partir deste estudo, o consumo diário de ovos de codornas alimentadas com ração suplementada com 2% de óleo de linhaça, sendo indicado uma porção (5 unidades) de ovos cozidos, ou caso os ovos sejam submetidos ao armazenamento por 35 dias, a recomendação é aumentar a ingestão para 1,5 porções de ovos ao dia, visto que com a estocagem há perda desses ácidos graxos.

ANEXO



UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ZOOTECNIA

Campus Universitário - Viçosa, MG - 36570-000 - Telefone: (31) 3899.2262 - Fax: (31) 3899.2275 - e-mail: dzo@ufv.br

Comitê de Ética para Uso de Animais/DZO

Viçosa, 17 de abril de 2013

CERTIFICADO

O Comitê de Ética para Uso de Animais do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa certifica que o processo nº 33/2012, intitulado “DESEMPENHO ZOOTÉCNICO E QUALIDADE DE OVOS DE CODORNAS JAPONESAS ALIMENTADAS COM RAÇÕES CONTENDO DIFERENTES FONTES DE ÔMEGA 3”, coordenado pelo Prof(a). Sérgio Luiz de Toledo Barreto, está de acordo com os princípios éticos da experimentação animal, estabelecido pelo Colégio Brasileiro de Experimentação Animal e com a legislação vigente, tendo sido aprovado por este Comitê em 17/Abr/2013.

CERTIFICATE

The Ethic Committee in Animal Use of Animal Science Department/Universidade Federal de Viçosa certify that the process number 33/2012, named “PERFORMANCE AND QUALITY OF EGGS OF JAPANESE QUAILS FED DIETS WITH DIFFERENT SOURCES OF OMEGA 3”, coordinated by Prof(a). Sérgio Luiz de Toledo Barreto, is in agreement with the Ethical Principles for Animal Research established by the Brazilian College for Animal Experimentation (COBEA) and with actual Brazilian legislation. This Institutional Committee approved this process on Apr, 17th, 2013.

Marcos Inácio Marcondes
Presidente do CEUA/DZO/UFV