

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO**  
**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA**  
**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**PROGRAMA DE DOUTORADO INTEGRADO EM ZOOTECNIA**

**Modelos para avaliar o enriquecimento de Selênio e vitamina E nos ovos  
de codornas japonesas e galinhas de postura**

**Marcos José Batista dos Santos**

**Zootecnista**

**Recife – Pernambuco**

**2013**

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO**  
**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA**  
**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**PROGRAMA DE DOUTORADO INTEGRADO EM ZOOTECNIA**

**Modelos para avaliar o enriquecimento de Selênio e vitamina E nos ovos  
de codornas japonesas e galinhas de postura**

**Marcos José Batista dos Santos**

**Zootecnista**

**Recife – Pernambuco**

**2013**

### Ficha Catalográfica

S237m Santos, Marcos José Batista dos  
Modelos para avaliar o enriquecimento de selênio e  
vitamina E nos ovos de codornas japonesas e galinhas de  
postura / Marcos José Batista dos Santos. -- Recife, 2013.  
130 f. : il.

Orientador (a): Carlos Bôa-Viagem Rabello.  
Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade  
Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Zootecnia,  
Recife, 2013.

Referência.

1. Modelagem matemática 2. Funções matemáticas  
3. Selênio 4. Tocoferol 5. Codorna I. Rabello, Carlos Bôa-  
Viagem, Orientador II. Título

CDD 636

**MARCOS JOSÉ BATISTA DOS SANTOS**

**Modelos para avaliar o enriquecimento de Selênio e vitamina E nos ovos  
de codornas japonesas e galinhas de postura**

**Tese apresentada a Universidade  
Federal Rural de Pernambuco como  
parte das Exigências da obtenção do  
título de *Doctor Scientiae*.**

**COMITÊ DE ORIENTAÇÃO:**

**Prof. Dr. Carlos Bôa-Viagem Rabello – orientador principal**

**Prof. Dr. Maria do Carmo Mohaupt Marques Ludke**

**Prof. Dr. Jorge Vitor Ludke**

**Recife – Pernambuco**

**2013**

MARCOS JOSÉ BATISTA DOS SANTOS

MODELOS PARA AVALIAR O ENRIQUECIMENTO DE SELÊNIO E  
VITAMINA E NOS OVOS DE CODORNAS JAPONESAS E GALINHAS DE  
POSTURA

Tese defendida e aprovada pela Comissão Examinadora em 25 de fevereiro de 2013

Comissão Examinadora:



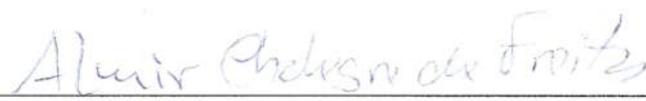
---

Prof. Dr. Fernando Guilherme Perazzo Costa  
Universidade Federal da Paraíba  
Departamento de Zootecnia/CCA



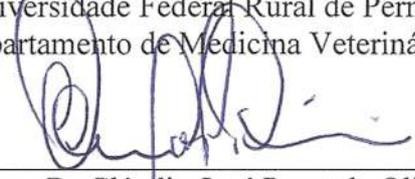
---

Prof. Dr. Wilson Moreira Dutra Junior  
Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Departamento de Zootecnia



---

Prof. Dr. Almir Chalegre de Freitas  
Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Departamento de Medicina Veterinária/UAG



---

Dr. Cláudio José Parro de Oliveira  
Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Departamento de Zootecnia

---

Prof. Dr. Maria do Carmo Mohaupt Marques Ludke  
Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Departamento de Zootecnia  
Presidente

Recife-PE

Fevereiro – 2013

*Mas Deus escolheu as coisas loucas deste mundo para confundir as sábias; e Deus escolheu as coisas fracas deste mundo para confundir as fortes; E Deus escolheu as coisas vis deste mundo, e as desprezíveis, e as que não são, para aniquilar as que são. Para que nenhuma carne se glorie perante ele.*

1 Coríntios 1:27-29

## Oferreço

Oferreço em primeiro ao meu Deus que me permitiu mais essa etapa. À minha amada esposa Gerlane, essa pessoa maravilhosa que Deus colocou em minha vida, a sua paciência, amor incondicional, carinho, dedicação e incentivo me deram forças para continuar. Por estar sempre ao meu lado nos momentos mais difíceis me dando apoio e fé. Exemplo de uma mulher sábia!

**TE AMO MAIS A CADA DIA QUE PASSA!!!!**

## **Dedicatória**

A Deus que me ajudou até aqui, por isso, estou alegre! E sem o qual eu não poderia ter continuado na caminhada. A minha avó dona Dida, que sempre me incentivou e apoiou nos meus estudos. Aos meus pais seu Marcos e dona Marisa, que sempre acreditaram em mim, um exemplo de dedicação e amor aos filhos. Aos meus irmãos, Grasielle (a galega), Ewerton, Ana e Filipe os melhores irmãos que um homem pode ter.

## Agradecimentos

Ao meu Deus, pois sem Ele não teria chegado até aqui. A Ele toda honra glória e poder!.

A minha avó Adalgisa e aos meus pais, Marcos e Marisa, que sempre me deram apoio para os meus estudos.

Aos meus irmãos, amo muito vocês.

A minha Bem-drasta Lucimar, pelas palavras de incentivo e. Exemplo de uma mulher guerreira.

Aos meus sobrinhos: Letícia, Lara e João, amo muito vocês!

Aos meus amigos: José Carlos (Junior manga) e esposa (Fatinha) e Wellington por todo companheirismo e conselhos sábios! (vocês moram no meu coração!)

Aos meus tios: Manoel, Maurio e Nalva por incansáveis conselhos e incentivos. Exemplos de batalhadores!

Aos meus cunhados Samuel, Gecélia (*in memoriam*), Neilson, Valéria, Netinho (seu madrug), Edna e minha sogra (Genelice) pelo incentivo moral e espiritual.

Ao meu orientador Carlos Bôa-Viagem, exemplo de orientador, professor, amigo, conselheiro e ser humano! Exemplo a qualquer professor, meu muito obrigado!

Aos meus amigos amizade que se formou na Universidade e continuará fora dela!

Aos amigos Priscila Antão, Thaysa Torres, Claudia Lopes, Tayara, Izaura, Luiz, Cláudio, Mislene, Sharlene, (espiroqueta), Hiran, Nalígia, Soraya, Carol Lira, Waldirene, Edney e Ricardo Coelho.

Aos professores: Juarez Lopez e Aloizio Ferreira (UFV) dois professores e amigos, por todo conhecimento transmitido e conselhos sábios!

Aos professores da UFRPE: Wilson Moreira Dutra e Maria do Carmo Ludke pela sua atenção e auxílio.

A Universidade Federal Rural de Pernambuco pela minha formação intelectual.

A empresa Fujikura pela doação dos animais.

A todos muito obrigado!

## SUMÁRIO

Ficha catalográfica .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
COMISSÃO EXAMINADORA: .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
Ofereço .....	ii
Dedicatória .....	iii
Agradecimentos .....	iv
LISTA DE TABELAS .....	viii
LISTA DE FIGURAS .....	x
RESUMO GERAL .....	1
ABSTRACT .....	3
CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	5
CAPITULO I .....	7
Revisão de literatura .....	7
Revisão de literatura .....	8
1. Fontes e reações de ROS .....	8
2. Estresse oxidativo .....	10
3. Proteção natural contra o estresse oxidativo .....	11
4. Selênio quelatado e não-quelatado .....	13
5. Selênio na reprodução de aves .....	16
6. Selênio na qualidade dos ovos .....	17
7. Vitamina E no combate aos radicais livres .....	18
8. Fontes de vitamina E .....	19
9. Vitamina E na qualidade dos ovos .....	23
10. Vitamina E e Imunidade .....	25
11. Vitamina E em estresse térmico .....	26
12. Vitamina E na dieta de codornas .....	27
13. Alimentos Funcionais .....	28
14. Equações não-lineares .....	29
15. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	32
Capitulo II .....	41
Desempenho e qualidade dos ovos de codornas japonesas suplementadas com Selênio e Vitamina E .....	41

RESUMO .....	42
PALAVRAS CHAVE.....	43
ABSTRACT .....	44
KEYWORDS .....	45
INTRODUÇÃO.....	46
MATERIAL E MÉTODOS .....	48
RESULTADOS .....	51
DISCUSSÃO.....	54
CONCLUSÕES.....	57
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	58
Capítulo III. ....	61
Modelos para estimar níveis de suplementação de selênio e vitamina E em dietas para codornas japonesas .....	61
RESUMO .....	62
PALAVRAS CHAVE.....	63
ABSTRACT .....	64
KEYWORDS .....	65
INTRODUÇÃO.....	66
MATERIAL E MÉTODOS .....	68
RESULTADOS .....	73
DISCUSSÃO.....	82
CONCLUSÕES.....	86
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	87
Capítulo IV .....	91
Meta- análise de desempenho e qualidade dos ovos de galinhas de postura . <b>Erro! Indicador não definido.</b>	
suplementadas com diferentes fontes de Selênio.... <b>Erro! Indicador não definido.</b>	
RESUMO .....	92
ABSTRACT.....	94
KEYWORDS .....	95
Capitulo V .....	114
Implicações.....	114
Implicações.....	111

## LISTA DE TABELAS

### Capítulo II. Desempenho e qualidade dos ovos de codornas japonesas suplementadas com Selênio e Vitamina E

Tabela 1. Ração referência para codornas japonesas em postura1 .. **Erro! Indicador não definido.**

Tabela 2. Desempenho de codornas suplementadas com selênio e vitamina E .....**Erro! Indicador não definido.**

Tabela 3. Qualidade de ovos de codorna suplementadas com selênio e vitamina E .**Erro! Indicador não definido.**

Tabela 4. Deposição de Selênio e vitamina E em ovos e casca de codornas japonesas**Erro! Indicador não definido.**

### Capítulo III. Modelos para estimar níveis de suplementação de selênio e vitamina E em dietas para codornas japonesas

Tabela 1. Ração referência para codornas japonesas em postura1**Erro! Indicador não definido.**9

Tabela 2. Desempenho de codornas suplementadas com selênio e vitamina E .....**Erro! Indicador não definido.**4

Tabela 3. Variáveis da qualidade dos ovos de codornas alimentadas com rações suplementadas com selênio e vitamina E ..... **Erro! Indicador não definido.**6

Tabela 4. Níveis de deposição de Se e vitamina E nos ovos de codornas japonesas suplementadas com Se e vitamina E..... **Erro! Indicador não definido.**7

Tabela 5. Parâmetros ( $\alpha$ ) ajustados às respostas de deposição de Selênio nos ovos de codornas japonesas e estatísticas do ajuste dos modelos**Erro! Indicador não definido.**9

Tabela 6. Parâmetros ( $\alpha$ ) ajustados às respostas de deposição de vitamina E nos ovos de codornas japonesas e estatísticas do ajuste dos modelos**Erro! Indicador não definido.**9

Tabela 7. Parâmetros ( $\alpha$ ) ajustados às respostas de deposição de Se na casca dos ovos de codornas japonesas e estatísticas do ajuste dos modelos**Erro! Indicador não definido.**9

Tabela 8. Estimativa das exigências de selênio para 99% DPmax .....81

#### **Capítulo IV. Meta- análise de desempenho e qualidade dos ovos de galinhas de postura suplementadas com diferentes fontes de Selênio**

Tabela 1. Descrição dos artigos utilizados na base de dados..... **Erro! Indicador não definido.**

Tabela 2. Valores mínimo, máximo, média e desvio padrão da deposição de Se na base de dados dos ovos de galinhas de postura suplementadas com Selênio quelatado .....**Erro! Indicador não definido.**

Tabela 3. Mínimo, máximo, média e desvio padrão da deposição de Se na base de dados dos ovos de galinhas de postura suplementadas com Selênio não-quelatado.....**Erro! Indicador não definido.**

Tabela 4. Correlações entre Selênio quelatado e não quelatado de galinhas comerciais suplementadas com esse mineral ..... **Erro! Indicador não definido.**

Tabela 5. Parâmetros ( $\alpha$ ) ajustados por meta análise às respostas de deposição de selênio, postura e peso dos ovos de galinhas de postura comercial suplementadas com selênio em matriz orgânica ..... **Erro! Indicador não definido.**

Tabela 6. Parâmetros ( $\alpha$ ) ajustados por meta análise as respostas de deposição de selênio, postura e peso dos ovos de galinhas de postura comercial suplementadas com selênio em matriz não orgânica..... **Erro! Indicador não definido.**

Tabela 7. Deposição de Se nos ovos, produção e peso dos ovos obtido por meta análise em galinhas de postura alimentadas com Se – quelatado e Selenito de Sódio**Erro! Indicador não definido.**

## LISTA DE FIGURAS

### Capítulo I. Suplementação de Selênio e vitamina E na nutrição de codornas japonesas e galinhas de postura

Figura 1. Estrutura dos isômeros do tocoferol e tocotrieno **Erro! Indicador não definido.**

### Capítulo III. Modelos para estimar níveis de suplementação de selênio e vitamina E em dietas para codornas japonesas

Figura 1. (A) Altura de albúmen (AA), (B) espessura de casca (EC), (C) unidade Haugh, (D) percentagem de gema (PG) e (E) percentagem de casca (PC) de codornas japonesas suplementadas com selênio e vitamina E ..... **Erro! Indicador não definido.**6

Figura 2. Respostas observadas e previstas para deposição de Se (A), vitamina E (B) nos ovos e Se na casca de ovos (C) de codornas japonesas suplementadas com Se e vitamina E, utilizando para predição os modelos Sigmoidal, Logístico e Broken line81

### Capítulo IV. Meta- análise de desempenho e qualidade dos ovos de galinhas de postura suplementadas com diferentes fontes de Selênio

Figura 1. Deposição (A), percentagem de postura (B), peso dos ovos (C), massa de ovos (D) em aves suplementadas com Se – quelatado e SeNa obtido por meta análise **Erro! Indicador não definido.**

## RESUMO GERAL

Objetivou-se com esta pesquisa 1) verificar o desempenho e a qualidade dos ovos de codornas japonesas suplementadas com selênio e vitamina E; 2) averiguar o desempenho, qualidade dos ovos e modelar a deposição de selênio e vitamina E nos ovos de codornas japonesas suplementadas com esses nutrientes; 3) avaliar por meta-análise, a suplementação de selênio quelatado e não-quelatado, avaliando o desempenho de poedeiras comerciais, a qualidades interna e externa dos ovos e a deposição desses nutrientes nos ovos e órgãos. No primeiro experimento utilizou-se 200 codornas com 45 dias de idade distribuídas de acordo com um delineamento inteiramente casualizado, as rações experimentais foram suplementadas com Se-quelatado e vitamina E acetato de dl- $\alpha$ -tocoferol na proporção de 0,2 ppm Se, 20 mg/kg vitamina E, 0,2 ppm Se e 20 mg/kg de vitamina E e Ração Referência (RR). No objetivo dois foram alojadas 250 codornas com 45 dias de vida em gaiolas, foram ajustados quatro funções matemáticas a resposta de deposição de Se nos ovos, os tratamentos foram: (RR); RR + 0,1 ppm de Se mais 20 mg/kg de DL- $\alpha$ - tocoferil (Se1), RR + 0,2 ppm de Se + 20 mg/kg de DL- $\alpha$ - tocoferil (Se2), RR + 0,3 ppm de Se mais 20 mg/kg de DL- $\alpha$ - tocoferil (Se3), RR + 0,4 ppm de Se mais 20 mg/kg de DL- $\alpha$ - tocoferil (Se4). No objetivo três os dados foram compostos por oito artigos publicados entre 2004 e 2010. Os níveis de selênio quelatado e não-quelatado incluídos na análise estavam no intervalo de 0,15 á 0,9 ppm desse mineral na dieta. A meta-análise foi realizada por três análises sequenciais: correlação, gráfica e variância - covariância. As conclusões obtidas foram: A suplementação de Se e vitamina E é eficaz para aumentar a concentração desses nutrientes na gema e albúmen dos ovos de codornas japonesas, mas não influenciam na deposição de Se na casca dos ovos. A suplementação de Se e

Vitamina E não influenciam no desempenho das codornas, mas influenciam as variáveis de qualidade dos mesmos. Os modelos que melhor descrevem a deposição de Se nos ovos e na casca é o sigmoidal e o logístico com 0,29 e 0,33 ppm de Se para máxima deposição nos ovos respectivamente. O melhor modelo para deposição de vitamina E é o sigmoidal com exigência de 0,36 ppm de Se para deposição máxima de vitamina E nos ovos. A associação de Se e vitamina E não influenciam as variáveis de produção, mas influenciam as variáveis de qualidade dos ovos. A suplementação de selênio quelatado e não quelatado influenciam a deposição nos ovos, a taxa de postura, peso e massa dos ovos, porém não influenciam a deposição desse nutriente nos órgãos. A forma quelatada de selênio foi mais eficaz na

## ABSTRACT

This thesis was proposed in order to: 1) verify the performance and egg quality of Japanese quails supplemented with selenium (Se) and vitamin E, 2) investigate the performance, egg quality and modeling the deposition of selenium (Se) and vitamin E in eggs of Japanese quails supplemented with these nutrients, 3) evaluate by meta-analysis, supplementation (Se) chelated and non-chelated, evaluating the deposition in eggs, organs and performance of laying hens supplemented with these nutrients. At first objective 200 quails were used with 45 days of life, the experimental diets were supplemented with selenomethionine and vitamin E acetate, dl- $\alpha$ -tocopherol in the proportion of 0.2 ppm Se, 20 mg/kg vitamin E, 0.2 ppm up to 20 mg/kg vitamin E and basal diet (RR). In Objective 2, 600 quails were housed at 45 days of life in cages, four functions were adjusted for the deposition of Se in eggs, the treatments were: (RR) RR + 0.1 ppm Se + 20 mg/kg vitamin E (Se1) RR + 0.2 ppm Se + 20 mg/kg vitamin E (SE2), RR + 0.3 ppm Se 20 mg/kg vitamin E (SE3), RR + 0.4 ppm Se 20 mg/kg vitamin E (SE4). For objective 3 Data were composed of eight articles published between 2004 and 2010. If the levels of chelated and non-chelated included in the analysis were in the range of 0.15 to 0.9 ppm of this mineral in the diet Meta-analysis was performed by three sequential analyzes: correlation, graphical and variance - covariance. The conclusions reached were: Se supplementation and vitamin E is effective in increasing the concentration of these nutrients in the yolk and albumen of eggs of Japanese quail, but not influence the deposition of Se in the egg shell. Se supplementation and vitamin E did not influence the performance of quails, but influence the variables of quality. The models that best describes the deposition of Se in eggs and the shell is sigmoidal logistic and with 0.29 and 0.33 ppm for maximum deposition If the eggs respectively. The best model for deposition of Vitamin E is the requirement with sigmoidal 0.36 ppm Se for

maximum deposition of vitamin E in eggs. The association of Se and vitamin E did not affect the production variables, but the variables of the quality of the eggs was influencing . The supplementation of the Se chelated and non-chelated influence the deposition in hens eggs, the laying rate and egg weight, however, does not influence the deposition of this nutrient in organs. The chelated form of Se is more effective deposition of eggs and has a greater rate of laying.

## CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A preocupação com a qualidade de vida vem modificando hábitos entre a população, dentre elas, a saúde tem despertado cuidados adicionais. A agência nacional de saúde estima que a diabetes acomete 5,6% da população e as doenças cardiovasculares é responsável por 29,4% de todas as mortes no país (ANS, 2012). Já para os casos de câncer, a estimativa para 2012 é aproximadamente 600 mil casos no Brasil (INCA, 2011). O estresse oxidativo está diretamente correlacionado com essas patologias, e ela pode ser causada pelo embalço entre radicais livres e antioxidantes. Os radicais livres são produzidos naturalmente no metabolismo, porém, são combatidos por antioxidantes que podem ser enzimas específicas, produzidas no organismo (glutathione peroxidase) ou por via externa (vitamina E, vitamina C dentre outras). Esses radicais podem ser formados por reações de catálise de metais, por macrófagos e neutrófilos durante o processo de inflamações, podem também ser subprodutos das mitocôndrias no transporte de elétrons nas reações de catálises e outros mecanismos (Cadenas, 1989). Essas patologias estão diretamente correlacionadas com a deficiência de selênio e vitamina E (Salonen, J. T. *et al.*, 1982; Rayman, 2005), uma vez que o selênio é constituinte da enzima glutathione peroxidase e a vitamina E trabalha de forma sinérgica com esse mineral. O papel da vitamina E como antioxidante é impedir a quebra das ligações em lipídios que estão sendo atacados por radicais livres principalmente lipídeos de membranas e órgãos.

Após essas doenças já terem se desenvolvido no organismo, o dano é progressivo uma vez que a maioria delas não tem cura, diante disto, nasceu o conceito de medicina preventiva, que tem evoluído ao longo dos últimos anos, o seu foco é evitar e tratar eventuais enfermidades antes que elas se manifestem plenamente. A correta

suplementação desses nutrientes previne o estresse oxidativo e, conseqüentemente, o desencadeamento dessas enfermidades.

A maior concentração de selênio para humanos é encontrada nos grãos, nas sementes, carne e alimentos marinhos, para os animais domésticos a maior concentração encontra-se no milho e são suplementadas via premix mineral. Contudo, as concentrações desse mineral no solo variam geograficamente, sendo o solo brasileiro pobre desse mineral diminuindo as concentrações destes nos alimentos (Cozzolino, 2007). A respeito da nutrição vitamínica, no Brasil a dieta das mulheres são 99% deficientes de vitamina E e dentre os homens 100% deles ingere quantidades insuficientes dessa vitamina (IBGE, 2011). Assim, torna-se necessário a suplementação de selênio e vitamina E para suprir as deficiências nos seres humanos e nos animais. Um alimento que pode vir a ser um portador desses nutrientes é o ovo, sendo de grande valor biológico, rico em proteínas e lipídeos, de valor acessível à maioria da população e de fácil manipulação via dieta animal. Diante disso, há uma necessidade de investigações a respeito de enriquecer os ovos com nutrientes que promovam benefícios aos seres humanos, ao mesmo tempo em que promovem produtos de maior valor agregado aos produtores.

Diante do exposto, foram conduzidos dois estudos com codornas japonesas e um experimento por meta-análise em galinhas comerciais com objetivo de: 1) verificar o desempenho e a qualidade dos ovos de codornas japonesas suplementadas com selênio (Se) e vitamina E; 2) averiguar o desempenho, qualidade dos ovos e modelar a deposição de selênio (Se) e vitamina E nos ovos de codornas japonesas suplementadas com esses nutrientes; 3) avaliar por meta-análise, a suplementação de (Se) quelatado e não-quelatado, avaliando a deposição nos ovos, órgãos e desempenho de poedeiras comerciais suplementadas com esses nutrientes.

## **CAPITULO I**

### **Revisão de literatura**

**Modelos para avaliar o enriquecimento de Selênio e vitamina E nos ovos de  
codornas japonesas e galinhas de postura**

# **Modelos para avaliar o enriquecimento de Selênio e vitamina E nos ovos de codornas japonesas e galinhas de postura**

## **Revisão de literatura**

### **1. Fontes e reações de ROS**

Radicais livres podem ser definidos como moléculas com um ou mais elétrons desemparelhados. Os radicais livres são produzidos principalmente nas mitocôndrias (85 a 90%), através da cadeia de transporte de elétrons e peroxissomos. A quantidade gerada na mitocôndria é dependente do seu estado metabólico, essa atividade é maior no estado quatro da respiração (~ 1 nmo/min/ mg proteína) (Inoue *et al.*, 2003).

Radicais livres podem ser formados pela perda de um único elétron ou pelo ganho de um elétron de uma substância não radical. Eles podem ser formados quando uma ligação covalente é quebrada e um elétron de cada um dos pares permanece em cada átomo, em processo chamado fissão homolítica. Eles são produzidos naturalmente no organismo através de processos metabólicos oxidativos, em alguns momentos tornam-se importantes como, por exemplo, na ativação do sistema imune (os peróxidos de hidrogênio combatem as bactérias e outras substâncias estranhas). A enzima citocromo oxidase remove um elétron de cada molécula, quatro no total, reduzindo-as de citocromo C, oxidando-as, e adicionando os quatro elétrons ao O<sub>2</sub> para formar água (em torno de 95 a 98%). Os dois a cinco por cento restantes são produzidos univalentemente em metabólitos denominados espécies reativas de oxigênio (Schneider e Oliveira, 2004).

A maioria dos radicais livres possui como característica uma meia-vida muito curta, indo de minutos a nanossegundos, sendo capazes de reagir rapidamente com vários compostos ou atingir alvos celulares, como as membranas. Entre as várias espécies de radicais livres estão, principalmente, as derivadas do oxigênio e os metais de transição (Halliwell e Gutteridge, 2007).

Existem três isoenzimas que combatem os superóxidos, superóxido desmutase (SOD) extracelular, cobre zinco superóxido desmutase (Cu-Zn-SOD) e manganês superóxido desmutase (Mn-SOD), a SOD e Mn-SOD são localizadas na matriz mitocondrial e a Cu-Zn-SOD acredita-se estar no citosol das células. Essas isoenzimas são de extrema importância para não ocorrer danos celulares e, conseqüentemente, o aparecimento de algumas patologias (Sies, 1991).

Contudo, a ocorrência de mutação da Cu-Zn-SOD em diferentes locais do organismo, afeta as propriedades da superfície da enzima responsável na interação com a mitocôndria, conseqüentemente desencadeia o estresse oxidativo nas células e tecidos (Inoue *et al.*, 2003). O montante de superóxido gerado pela mitocôndria é maior quando comparado ao NADH, também produtor de superóxido. Estima-se que a geração de superóxido pela mitocôndria é aproximadamente 3 nmo / min/ mg de proteína, portanto, são metabolizados de forma segura perto do sítio de sua geração devido a sua forma perigosa (Inoue *et al.*, 2003).

## 2. Estresse oxidativo

O estresse oxidativo tem sido bem caracterizado e muitas pesquisas têm sido realizadas para conhecer o seu efeito e diminuir os seus danos. O estresse oxidativo é uma condição gerada no organismo quando existe um embaloço entre oxidantes e antioxidantes trazendo consequências ao animal por produzir compostos tóxicos e dano tecidual. Essa formação acontece quando há um aumento da formação de ROS que possui um número ímpar de elétrons reativos:  $O_2$  (ânion superóxido),  $H_2O_2$  (peróxido de hidrogênio) e OH (radical hidroxila) (Del Maestro, 1980; Granger *et al.*, 1981). O processo depois de iniciado só cessa quando houver uma quebra destes radicais livres por meio de antioxidantes, bloqueando a reação em cadeia (Halliwell *et al.*, 2007).

Os radicais livres tem como alvos diversas moléculas como proteínas, lipídeos e ácidos nucleicos, fazendo com que se desnaturem ou percam suas funções. Nas proteínas, os radicais livres interagem na cadeia lateral, atacando preferencialmente os aminoácidos cistina, histidina, triptofano, metionina e fenilalanina, acarretando em danos de clivagem de ligações, podendo causar perda da atividade enzimática e comprometendo o transporte das membranas e morte celular (Berger *et al.*, 1999).

Outra reação aos ROS é a peroxidação lipídica que desencadeia patologias e prejuízos ao desenvolvimento animal. As cadeias com duplas ligações insaturadas e poli-insaturados são as mais susceptíveis a ataques, principalmente nos lipídios de membrana. Os radicais centrados no oxigênio atacam a cadeia lipídica, convertendo-o em novo centro de radical livre. O carbono radicalar adiciona mais oxigênio gerando o radical lipídio-peroxila, que pode facilmente atacar as proteínas produzindo danos nas células (Tabor e Blair, 2009).

Aves submetidas a altas temperaturas são susceptíveis a estresse oxidativo, pois a elevação da temperatura aumenta a taxa de respiração e conseqüentemente a uma elevação da taxa de O<sub>2</sub> no organismo promovendo mais ROS (Santos, 2009).

### **3. Proteção natural contra o estresse oxidativo**

Os animais têm alguns mecanismos de defesa, que combatem as substâncias oxidantes. Esse sistema é de grande importância para evitar a destruição de tecidos o que lhe poderia trazer danos irreversíveis ou morte.

O termo “antioxidante” é amplamente utilizado, sendo limitado aos inibidores da peroxidação lipídica, como a glutathiona (GSH) e a Vitamina E. Antioxidante é uma substância que, quando presente em baixas concentrações, deleta ou previne, significativamente a oxidação desse substrato (Halliwell, 1990).

Existem dois sistemas naturais para redução de radicais livres que atuam impedindo ou eliminando sua formação. Estes podem ser o sistema enzimático e o não enzimático (Olszewer, 1995). O sistema enzimático é composto pelas enzimas da família glutathiona peroxidase, catalase e superóxido desmutase. O sistema não enzimático são moléculas exógenas, ou seja, é necessária a ingestão por via de alimentos ou como complementos nutricionais. Essas podem ser vitaminas lipossolúveis e hidrossolúveis exemplos: Vitamina C e Vitamina E.

Os antioxidantes são representados pelas enzimas e podem atuar contra o ROS e ou ainda reparar os danos causados ao organismo por essas espécies. Existem três sistemas enzimáticos de defesa antioxidante:

1. Dois tipos de enzimas SOD que catalisam a destruição do radical ânion superóxido  $O_2^{\bullet-}$ , convertendo-o em oxigênio e peróxido de hidrogênio. Existem duas formas de SOD no organismo, a primeira contém  $Cu^{2+}$  e  $Zn^{2+}$ , como centros redox, e ocorre no citosol, sendo que sua atividade não é afetada pelo estresse oxidativo. A segunda contém  $Mn^{2+}$  como centro redox, ocorre na mitocôndria e sua atividade aumenta com o estresse oxidativo (Burton e Ingold, 1981).

2. O segundo sistema de prevenção é muito mais simples, sendo formado pela enzima catalase que atua na dismutação do peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ) em oxigênio e água (Burton *et al.*, 1981).

3. O terceiro sistema é o mais abundante e são formados pela família da glutathione, um tripeptídeo com resíduos de cisteína que tem o Se como principal participante desta enzima, o sítio ativo é uma selenocisteína que participa da redução dos peróxidos (Girotti, 1998).

A família da GSH é constituída por quatro enzimas chamadas de (GPx1) glutathione peroxidase citosólica, (GPx2) glutathione peroxidase gastrointestinal, (GPx3) plasma glutathione peroxidase e (GPx4) fosfolípido hidroperóxido glutathione peroxidase.

A GSH é composta por duas enzimas glutathione reductase (GR) e glutathione peroxidase (GPx), esse sistema catalisa a dismutação do peróxido de hidrogênio em água e oxigênio, operando entre as duas formas oxidada e reduzida. A GSH reduz o peróxido de hidrogênio à água com participação da GPx formando uma ponte dissulfeto e em seguida a GSH regenera-se (Babior, 1997).

Animais em estresse calórico ou em desafio imune tem uma maior exigência de Se devido à necessidade para síntese de anticorpos e de GPx. A deficiência de Se pode

trazer consequências danosas ao organismo, uma vez que a síntese de GSH será deprimida.

#### **4. Selênio quelatado e não-quelatado**

O Se foi descoberto em 1817 (Josef, 2004) e é um mineral essencial para a maioria das células eucariontes e procariontes, podendo ser consumido de duas formas: quelatado e não quelatado. A forma quelatada (Se-quelatado) é encontrada na forma natural como selenometionina (SeMet) ou selenocisteína (SeCis) e na forma não quelatada, como selenito (SeNa) ou selenato encontrada no solo ou em rochas.

Várias moléculas de SeCis têm sido encontradas com diferentes funções, por isso a essencialidade do Se vem tomando uma perspectiva muito mais complexa com a identificação de numerosos SeCis ativa biologicamente (Gladyshev e Hatfield, 1999).

A forma quelatada é encontrada naturalmente nos vegetais, culturas de leveduras e alimentos de origem animal, é a fonte de Se de melhor valor biológico (Mahmoud e Edens, 2003).

Quando animais são suplementados com SeMet a atividade de GPx no sangue e no fígado são duas vezes maiores do que animais suplementados com o SeNa (Mahmoud *et al.*, 2003).

A retenção de Se no organismo é dependente da idade das aves, da fonte de Se e do estado sanitário das aves. A suplementação de Se em aves deve ser logo no primeiro dia de alimentação, pois os pintainhos são expostos a um ambiente com desafio imunológico e as reservas no saco vitelino de Se são muito baixas. Zelenka e Fajmonova (2005) observaram baixa concentração de Se no saco vitelínico de

pintainhos e as reservas foram exauridas até o quarto dia de vida, nas aves onde o saco vitelínico foi retirado o mesmo efeito foi observado.

Selenoproteína é armazenado na proteína muscular como aminoácidos livres e são reciclados formando nova síntese de selenoproteínas. Quando o animal se encontra em estresse oxidativo o proteossomo, uma organela citosólica aumenta a razão de degradação proteica e aumenta a disponibilidade de aminoácido para síntese de selenoproteínas. Assim, a forma não quelatada de Se pode ser perdida rapidamente no organismo, em períodos de estresse a síntese de GPx é prejudicada (Hull e Scott, 1976).

A retenção de Se aumenta com a idade da ave e SeMet tem melhor retenção do que SeNa, esse comportamento se explica porque SeNa não pode ser armazenado de forma eficaz nos músculos. As reservas de Se aumentam com a idade e se comportam de forma linear e podem ser 77% maior em SeMet do que em SeNa (Zelenka *et al.*, 2005; Yoon *et al.*, 2007).

Frangos em estresse calórico têm maior taxa respiratória, o que provoca estresse oxidativo e, conseqüentemente, aumento na exigência de Se. Animais em estresse calórico suplementados com Se-quelatado ou não quelatado demonstraram maior atividade da família GSH no sangue em comparação a animais não suplementados, contudo a atividade da GSH no fígado foi diminuída (Mahmoud *et al.*, 2003). Jiakui e Xiaolong (2004) encontraram 78% mais Se em ovos de galinhas suplementadas com Se-quelatado do que não quelatado, porém não foi observado diferença entre SeMet e SeNa.

A produção de GPx pelo organismo é dependente do estado de saúde do animal e dos níveis de suplementação de Se na dieta, contudo animais em desafio sanitário que consomem SeMet tem maior síntese de GPx que animais não suplementados. Hull *et al.*

(1976) observaram maior atividade da GPx em animais com distrofia muscular que consumiram Se-quelato em relação aos que foram suplementados com SeNa, porém a atividade foi independentemente da suplementação ou não de Se.

As penas tem grande importância para homeostase da temperatura corporal das aves, portanto, um pobre empenamento aumenta o gasto energético em pintainhos e pode trazer consequências ao seu desempenho. Em aves, a deposição de Se é maior nas penas do que em qualquer outro tecido (Arnold *et al.*, 1974), por isso as penas são um indicador de disponibilidade de Se no organismo. Quando pintainhos foram suplementados com Se quelato (0,3 ppm) até os 21 dias, o empenamento foi 13,5% maior do que em aves suplementadas com 0,1 ppm de Se quelato (Perić *et al.*, 2009). Upton *et al.* (2009) trabalhando com pintainhos suplementaram 0,2 ppm de Se, observaram melhor empenamento do que em aves não suplementadas.

A suplementação de Se quelato aumenta os níveis de tecido muscular em aves (Ku *et al.*, 1972), também promove uma diminuição da perda por gotejamento no músculo de peito em frangos de corte (Perić *et al.*, 2009). Os autores também encontraram nas aves alimentadas com Se-quelato menor atividade da enzima alanina aminotransferase e aspartato aminotransferase que são um indicativo de danos por estresse oxidativo

A suplementação de SeNa em 0,2 ppm aumentou em duas vezes a atividade da GPx no fígado de frangos em comparação a aves suplementadas com 0,2 ppm de SeNa (Upton *et al.*, 2009).

## 5. Selênio na reprodução de aves

Tem sido mostrado que selenoproteínas desempenham um papel importante na estrutura do espermatozóide na forma de GPx, que representa mais que 60% da atividade enzimática nos testículos e 75% nos espermatozoides. Isso é devido ao perfil lipídico do espermatozóide que é formado por uma alta proporção de ácido araquidônico (20:4n-6) e ácido docosatetraenoico (22:4n-6), no qual são sensíveis a peroxidação lipídica. O perfil lipídico encontrado por Surai *et al.* (1998) em frangos de corte foram: 22:4n-6, 18:1n-9 e 20:4n-6, os ácidos graxos poli-insaturados e saturados representaram 52,13 e 30,19%, respectivamente. Os autores encontraram maior atividade da GPx 77% e baixa atividade da SOD no espermatozóide de galos domésticos.

Pintainhos provenientes de matrizes pesadas suplementadas com SeMet tem maior reserva de Se no fígado no primeiro dia de vida, e maior concentração do ácido docosaenoico, um ácido graxo de grande importância no desenvolvimento do cérebro.

Surai, (2000) trabalhando com SeMet em matrizes pesadas encontrou maior concentração de Se na gema dos ovos, no fígado dos pintainhos com um dia de vida e maior atividade da GPx em relação às matrizes não suplementadas. A suplementação de Se aumentou em dois gramas a progênie de matrizes pesadas (Pappas *et al.*, 2006), os autores também observaram maior concentração de Se no fígado, cérebro e DHA no cérebro de pintainhos proveniente de matrizes suplementadas com Se.

O embrião pode reabsorver Se pela casca dos ovos, então o status antioxidante pode ser aprimorado e fornecer proteção durante a incubação, que é reconhecidamente

uma fase de estresse oxidativo de grande intensidade para o embrião (Pappas *et al.*, 2006).

## **6. Selênio na qualidade dos ovos**

A qualidade dos ovos é um fator de grande importância para o mercado consumidor que prefere ovos de melhor qualidade. A vida de prateleira, qualidade da casca e a unidade Haugh (UH) são variáveis determinantes para essa qualidade. A concentração de Se nos ovos é facilmente manipulável em galinhas de postura quando elas são suplementadas com Se quelatado via dieta. A maior taxa de deposição de Se nos ovos encontra-se na gema do que no albúmen, e a deposição é maior em fontes de Se quelatado do que não quelatado. A deposição de Se nos ovos aumentou em até 378% em relação a galinhas não suplementadas com SeMet e 70% em relação à SeNa; contudo, não foi observado melhora no desempenho zootécnico das aves (Mahmoud e Edens, 2005; Utterback *et al.*, 2005), porém, Pavlovic *et al.* (2009) observaram melhor taxa de postura em aves suplementadas com SeMet. Pan *et al.* (2007) verificaram melhora na taxa de deposição de 200% de Se nos ovos em comparação ao grupo controle e 30% quando comparados com SeNa. Scheideler *et al.* (2010) observaram 36% mais Se na gema dos ovos quando galinhas foram suplementadas com 0,75 mg de SeMet em detrimento das aves que consumiram 0,55 mg de SeNa. Embora exista divergência nos valores da taxa de deposição de Se nos ovos observa-se que esses valores estão relacionados aos níveis de suplementação da dieta, a fonte de Se, bem como ao ambiente no qual as aves estão submetidas.

O armazenamento de ovos é uma prática comum tanto para o consumo humano como para a incubação. No entanto, o armazenamento pode alterar algumas características dos ovos, como a perda de peso, água, dióxido de carbono e um

subsequente aumento do pH. Pappas *et al.* (2005), suplementando poedeiras comerciais com SeMet observaram maior valor para a UH em detrimento as aves não suplementadas, evidenciando uma melhora na qualidade do albúmen. Os autores também observaram que galinhas com 23 semanas de idade, a UH não foi afetada nos ovos armazenados até aos 14 dias.

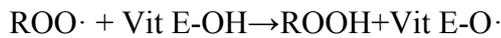
A suplementação de SeMet melhora a qualidade de casca, fator desejável para a indústria avícola e para o consumidor que adquire um produto com garantia de maior prazo de validade. Fernandes *et al.* (2008) concluíram que a suplementação de SeMet em galinhas de postura melhora a qualidade da casca aumentando a percentagem da mesma; os autores também perceberam aumento do peso dos ovos e maior deposição de Se na gema.

## **7. Vitamina E no combate aos radicais livres**

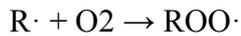
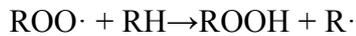
O combate ao estresse oxidativo por meio da vitamina E tem tido bons resultados, a vitamina E foi descoberta na Universidade de Berkeley, Califórnia, em 1922, laboratorialmente, por Herbert M. Evans (Evans e Bishop, 1922). A função antioxidante da vitamina E é limpar os radicais peroxil da oxidação em cadeia dos ácidos graxos poli-insaturados (PUFAS) (Burton e Traber, 1990).

Quando hidroperóxidos de lipídeos (ROOH) são oxidados a radicais peroxil (ROO $\cdot$ ), como poderia ocorrer na presença de metais como o ferro livre ou cobre, o ROO reage mais rapidamente com o  $\alpha$ -tocoferol (Vit E-OH) do que com PUFAS (Burton *et al.*, 1985).

Na presença de vitamina E:

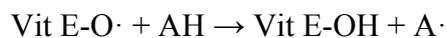


Sem a presença da vitamina E:



RH – substrato orgânico

Assim, o  $\alpha$ -tocoferol age como uma cadeia antioxidante, impedindo a maior proliferação de auto-oxidação de ácidos graxos poli-insaturados nas membranas ou lipoproteínas. No final da reação o  $\alpha$ -tocoferol passa da forma reduzida para a oxidada, sendo assim, ele reage com a vitamina C ou glutatona para voltar à forma reduzida (Sies *et al.*, 1992).



## 8. Fontes de vitamina E

A vitamina E é uma vitamina lipossolúvel e um grande inibidor da peroxidação lipídica, porém existem oito fontes de vitamina E com diferentes níveis de atividade no organismo. As formas conhecidas de tocoferóis são:  $\alpha$  – tocoferol,  $\beta$  – tocoferol,  $\gamma$  – tocoferol,  $\delta$  – tocoferol e as formas de tocotrienos são:  $\alpha$  – tocotrieno,  $\beta$  – tocotrieno,  $\gamma$  – tocotrieno e  $\delta$  – tocotrieno.

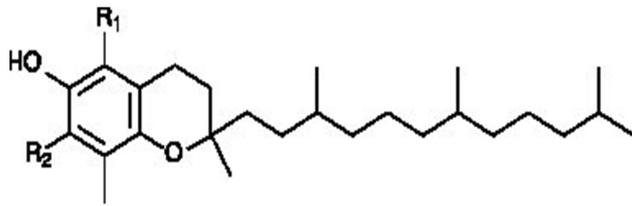
Todas as formas de vitamina E ocorrem naturalmente nos alimentos, e todas as formas tem atividade antioxidante relativamente semelhante. Embora essas quatro formas de tocoferóis tenham forma de ação antioxidante similar, apenas o  $\alpha$  – tocoferol atende as exigências em humanos (Food *et al.*, 2000).

Os óleos vegetais são ricos em vitamina E, contendo as quatro formas homólogas, encontrado em sementes como o girassol, milho e soja, porém a maior fração é  $\gamma$  – tocoferol e  $\delta$  – tocoferol (Fuhrmann *et al.*, 1994).

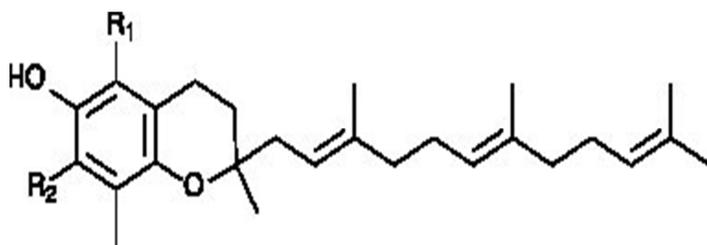
A absorção dos tocoferóis são aparentemente similares (Yap *et al.*, 2001), porém o  $\alpha$  – tocoferol é mais efetivo na quebra das cadeias dos radicais peróxidos em relação às demais formas (Burton *et al.*, 1981). A substituição das posições orto, meta e o grupo alcoxi permite a estabilização pela interação dos elétrons não emparelhados, isto só é possível com a forma  $\alpha$  – tocoferol (Burton *et al.*, 1981).

Existem oito estereoisômeros de  $\alpha$  – tocoferol, a forma sintética é conhecida como acetato de tocoferil ou dl –  $\alpha$  – acetato de tocoferil. As outras fontes naturais de vitamina E são d –  $\alpha$  – tocoferol, d –  $\alpha$  – acetato de tocoferil ou RRR –  $\alpha$  – acetato de tocoferil que são derivados de óleos vegetais. Os esteróisômeros de  $\alpha$  – tocoferol diferem das posições 2', 4' e 8' (R ou S configuração), resultando em RRR, RRS, RSR, RSS, SRR, SSR, SRS, e SSS isômeros (Blatt *et al.*, 2004). As atividades biológicas destes estereoisômeros variam entre 25 e 100% (RRR 100%, RRS 90%, RSS 73%, RSR 57%, SSS 60%, SRS 37%, SRR 31% e SSR 21% (Weiser *et al.*, 1996).

Todos os oito isômeros de  $\alpha$  – tocoferol são absorvidos no intestino incorporados dentro de quilomicrons, e são transportados para o fígado via sistema linfático ou veia porta. No fígado RRR-  $\alpha$  – tocoferol é preferencialmente incorporado dentro de LDL por proteínas de transferência hepática (Kaempf-Rotzoll *et al.*, 2003), e o  $\beta$ ,  $\gamma$  e  $\delta$  são excretado via bile no intestino delgado e eliminado pelas fezes (Kayden e Traber, 1993).



R1	R2	
CH3	CH3	$\alpha$ -Tocoferol
CH3	H	$\beta$ -Tocoferol
H	CH3	$\gamma$ -Tocoferol
H	H	$\delta$ -Tocoferol



R1	R2	
CH3	CH3	$\alpha$ -Tocotrieno
CH3	H	$\beta$ -Tocoferol
H	CH3	$\gamma$ -Tocoferol
H	H	$\delta$ -Tocoferol

Figura 1. Estrutura dos isômeros do tocoferol e tocotrieno

Fonte. Qureshi *et al.* (1997)

Em frangos de corte o  $\gamma$ -tocoferol se apresenta com menor atividade (15,8 e 18,2%) em comparação a  $\alpha$  - tocoferol (Fuhrmann *et al.*, 1994). Frangos de corte

submetidos a estresse oxidativo e recebendo duas dietas distintas com *all-rac- $\alpha$ -tocopherol* e *RRR- $\alpha$ -tocopherol* e alta concentração de PUFA, diminuíram os danos celulares ocasionados pelo estresse quando comparados ao tratamento testemunha (Voljc *et al.*, 2011).

O uso de PUFA nas dietas de aves tem sido uma prática comum para aumento de sua imunidade (Korver 2012), amenizar os efeitos do estresse oxidativo (Chen e Chiang, 2005), enriquecer os ovos de galinhas de postura (Cedro *et al.*, 2010; Oliveira *et al.*, 2010) e a carcaça de frangos de corte (Cortinas *et al.*, 2004). Contudo é preciso atentar para a peroxidação lipídica, pois PUFA é altamente susceptível a modificações na sua estrutura química, e níveis baixos de vitamina E não é capaz de impedir os efeitos deletérios da peroxidação.

Nos premixes vitamínicos e os tocoferóis presentes nos alimentos devem ser acondicionados de maneira a evitar o contato com umidade, altas temperaturas e luz direta solar. O tempo de armazenamento e o contato de alguns minerais, como o ferro nas rações desestabilizam as vitaminas, podendo diminuir sua atividade ou mesmo inativá-las (Young *et al.*, 1975).

Jensen *et al.* (1995), trabalhando com suplementação de vitamina E nas dietas de frangos de corte com concentração de: 100 mg de *RRR- $\alpha$ - $\gamma$ - $\delta$ -acetato de tocoferil*, 100 mg de *all-rac- $\alpha$ -tocoferil*, 500 mg de uma mistura de *RRR- $\alpha$ - $\gamma$ - $\delta$ - acetato de tocoferil* e 500 mg de *all-rac- $\alpha$ - tocoferil* e uma dieta basal, os autores concluíram que o tratamento com 100 mg de *all-rac- $\alpha$ -tocoferil* foi suficiente para estabilizar a oxidação do músculo de peito das aves.

## 9. Vitamina E na qualidade dos ovos

A melhora na qualidade dos ovos é um fator que beneficia o ser humano diminuindo os riscos de uma possível contaminação por microrganismos e o prolongamento do tempo de prateleira. O consumo de moléculas bioativas tem sido uma preocupação por uma parcela da população que procura alimentos mais saudáveis e que traga benefício a saúde. Os ovos são um excelente veículo para essas moléculas por serem de baixo custo e acessíveis a todas as camadas da sociedade. Em países como Canadá e EUA, o consumo de ovos enriquecidos é uma realidade e soma-se mais de 5% da produção total com tendência de crescimento (Leeson e Caston, 2003).

O enriquecimento de vitamina E nos ovos é interessante do ponto de vista organoléptico, pois a peroxidação lipídica altera essas características. Em galinhas de postura Galobart *et al.* (2001) quando suplementadas com diferentes níveis de  $\alpha$  – tocoferil (0,50,100 e 200 mg/kg), observaram que o perfil lipídico dos ovos foram alterados e apresentaram menor concentração dos ácidos eicosapentanoicos, docosapentanoico, docosahexanoico e total lipídeos da série  $\omega$ -3 com redução de 11–15%. Altas doses de  $\alpha$  – tocoferil pode influenciar negativamente a absorção de longas cadeias de ácidos graxos no intestino (Meluzzi *et al.*, 2000). Galobart *et al.* (2001) perceberam que a eficiência da deposição de  $\alpha$  – tocoferol da dieta para os ovos foi de 41,8% na proporção de 50mg/kg e 26,7% nos tratamentos com 100 e 200 mg/kg de  $\alpha$  – tocoferil, porém a maior deposição de vitamina E nos ovos foi para o tratamento com 200 mg/kg de  $\alpha$  – tocoferil com 122,9 mg/kg no albúmen. Os tratamentos 50 e 100 mg/kg de  $\alpha$  – tocoferil obtiveram a deposição de 45,50 e 71,23 mg/kg.

Grobas *et al.* (2002) estudaram a suplementação de 0, 20, 40, 80, 160, 320, 640, e 1280 mg/kg de acetato de dl-  $\alpha$  – tocoferil e 0, 40, 160 e 640 mg/kg de acetato de dl-  $\alpha$

-tocoferil combinados com 40000 IU de vitamina A na dieta de galinhas de postura. Os autores perceberam que existiu um comportamento linear na deposição de  $\alpha$  - tocoferil na gema dos ovos, porém a eficiência de deposição foi piorando em média 1% a cada 100 mg/kg de acetato de dl-  $\alpha$  -tocoferil na dieta. Quando combinado com vitamina A, foi observada uma baixa concentração de vitamina E na gema dos ovos.

Hayat *et al.* (2010) armazenaram ovos por 40 dias, os autores obtiveram uma concentração 50% a menos de  $\alpha$ -tocoferol em ovos de galinhas de postura, em comparação ao grupo sem suplementação, também a concentração de  $\alpha$ -tocoferol no dia zero foi 12 vezes maior quando comparado ao tratamento testemunha. Os autores também concluíram que vitamina E é mais efetivo do que o antioxidante BHT no combate a peroxidação de lipídeos.

Observando os dados da literatura é possível inferir que a discrepância dos resultados pode ser atribuída aos métodos analíticos da concentração de vitamina E atribuindo grande variabilidade nos resultados. O sinergismo e o antagonismo de alguns nutrientes podem também interferir negativamente ou positivamente na concentração destes constituintes. A temperatura ambiente também influencia nos resultados (Ajakaiye *et al.*, 2011) bem como o perfil lipídico da dieta. Outro fator de grande importância que interfere nos resultados da concentração de tocoferóis é a presença de antioxidantes nas rações (Galobart *et al.*, 2001) e a concentração de vitamina E e seus análogos na dieta basal.

## 10. Vitamina E e Imunidade

Como outros fatores nutricionais, a vitamina E afeta o desenvolvimento e a manutenção da imunocompetência através de múltiplas funções. As propriedades antioxidantes têm sido creditadas para melhorar as funções humorais das aves e mamíferos (Meydani e Beharka, 1998).

A vitamina E modula algumas respostas inflamatórias, regula a produção de prostaglandinas e leucotrienos (Friedman *et al.*, 1998), também minimiza o dano ocasionado por ação citotóxica no organismo (Leshchinsky e Klasing, 2001) e aumenta a atividade fagocitária de macrófagos em pintainhos (Konjufca *et al.*, 2004). A vitamina E atua diretamente sobre as células ou indiretamente alterando parâmetros metabólicos e endócrinos que, por sua vez, influencia a função imunológica. Ela participa do sistema imune das aves e sua deficiência pode causar encefalomalácia (Scott *et al.*, 1957), diátese exudativa (Peterson e Jensen, 1975) e fibrose no pâncreas das aves (Scott e Thompson, 1971).

A suplementação de dl- $\alpha$  – tocoferol no nível de 74 mg/kg aumentou os linfócitos contra bronquite aviária em relação às aves que consumiram 149 mg/kg dessa vitamina (Leshchinsky *et al.*, 2001). Em estudo, Gore e Qureshi (1997) administraram 10 mg/kg de vitamina E in ovo (dia 18), os autores perceberam aumento da resposta humoral das células e a atividade dos macrófagos quando comparados ao grupo controle, o efeito foi observado até o 14º dia de vida. O resultado deste estudo demonstrou que o aumento dos anticorpos e dos macrófagos nos pintainhos sugeriu que a administração in ovo de vitamina E é viável e melhora a qualidade dos frangos.

Quando antígenos de SRBC (sheep red blood cells) foram inoculados em aves, Boa-Amponsem *et al.* (2000) concluíram que a produção de anticorpos e resposta imune

celular foi deprimida nas aves que receberam 300mg/kg de vitamina E em comparação ao grupo que recebeu 10mg/kg. Já Friedman *et al.* (1998) observaram que a maior produção de anticorpos em pintainhos vacinados contra a doença de Newcastle foi com 10 mg/kg quando comparado com 150 mg/kg de vitamina E.

Pode-se observar que a produção de anticorpos e a dose de suplementação são dependentes da natureza do antígeno e as condições ambientais que as aves estão submetidas.

## **11. Vitamina E em estresse térmico**

Altas temperaturas acompanhadas de alta umidade no ambiente de produção têm efeitos deletérios para as aves, redução de consumo alimentar, perda de peso e baixa eficiência alimentar são alguns deles. Os efeitos deletérios das altas temperaturas nas aves são descritas por Hai *et al.* (2000).

Foi demonstrado por Sahin, *et al.* (2002) que em dietas de frangos de corte estressados artificialmente em 32°C e suplementado com acetato de dl- $\alpha$ -tocoferil, os níveis de MDA foram diminuídos significativamente em relação ao grupo não suplementado, também foi observado aumento dos níveis séricos de Fe, Zn e Cu. Frangos alimentados com 0, 100 e 200 mg/kg de vitamina E submetidos a estresse calórico (32°C) e inoculados com SRBC, apresentaram melhor conversão alimentar com o nível de 100 mg de vitamina E conforme os estudos de Niu *et al.* (2009). Embora houvesse interação entre temperatura e anticorpos para SRBC, a suplementação de 200mg/kg de vitamina E foi capaz de reduzir os efeitos negativos.

## 12. Vitamina E na dieta de codornas

Em codornas japonesas a presença de vitamina E na dieta é indispensável para expressar o máximo desempenho produtivo das aves e a manutenção do sistema imune. A suplementação de 100 mg/kg de dl-  $\alpha$  -tocoferol diminui a concentração de colesterol no sangue e lesões de arteriosclerose em codornas (Donaldson, 1982), intoxicação por mercúrio também é combatido pela vitamina E com decréscimo da mortalidade (Kling *et al.*, 1987).

Codornas são susceptíveis a síndrome do fígado hemorrágico e pode provocar esteatose hepática, assim, o uso de antioxidantes é uma ferramenta para o combate dessa síndrome sendo a vitamina E muito eficaz para o controle dessa enfermidade (Spurlock e Savage, 1993).

Aves em estresse térmico têm seu desempenho comprometido com reduzido ganho de peso, depressão do consumo, baixa taxa de postura e massa de ovos além dos efeitos do estresse oxidativo e queda dos níveis séricos de vitamina E. Sahin *et al.* (2006) alojaram codornas em temperatura ambiente de 34° e alimentadas com (0, 125 e 250) mg/kg de dl - $\alpha$  - tocoferil, as aves apresentaram efeito linear crescentes para consumo, ganho de peso e eficiência alimentar, os autores também observaram efeito linear decrescente da concentração de malonaldeído (MDA).

Em outro estudo Sahin, *et al.* (2002) suplementado nos níveis de 250 e 500 mg/kg de  $\alpha$  - tocoferol, observaram que 250 mg/kg foi capaz de aliviar os efeitos negativos das altas temperaturas (34°) em codornas japonesas, maior ganho de peso, consumo e produção de ovos foram também observados, a espessura da casca dos ovos, gravidade específica e UH foram melhoradas pela inclusão destes mesmos níveis.

Codornas japonesas reprodutoras machos apresentaram melhor fertilidade quando foram suplementadas com 150 mg/kg de acetato de dl- $\alpha$  – tocoferil quando comparados a concentração de 300 mg/kg (Biswas *et al.*, 2007). Similarmente, Adabi *et al.* (2011), observaram melhor motilidade e espermatozoides vivos quando alimentadas com dietas suplementadas com 150mg/kg de vitamina E.

### **13. Alimentos Funcionais**

Alimentos funcionais são alimentos que além de desempenhar a função de nutrir, produzem efeito metabólico e/ou fisiológicos desejáveis. Em sua composição, uma ou mais substâncias são capazes de agir no sentido de modular processos metabólicos, promovendo a melhora na saúde, bem-estar e prevenindo o aparecimento precoce de doenças degenerativas (Goldberg, 1994; Shi *et al.*, 2002). Os alimentos funcionais oferecem vários benefícios à saúde, além do valor nutritivo intrínseco à sua composição química, pode ser benéfico na redução do risco de doenças crônicas degenerativas (Neumann *et al.*, 2000). O conceito de alimentos funcionais surgiu no início dos anos 80 no Japão. Naquele momento intencionava-se adicionar na dieta alimentar ingredientes naturais que deveriam apresentar funções específicas no organismo, como a melhoria dos mecanismos de defesa biológica, a prevenção ou terapia de alguma enfermidade ou disfunção, melhoria das condições físicas e mentais e do estado geral da saúde e retardo no processo de envelhecimento (Garcia, 2004).

O conceito de alimento funcional vem tomando espaço no ambiente acadêmico e tem sido estudado como nova proposta para atender deficiências na nutrição humana, desta forma existe um crescimento de pesquisas para elucidar os efeitos destes na saúde humana e animal.

A FDA (Food and Drug Administration) regula os alimentos funcionais baseada no uso que se pretende dar ao produto, na descrição presente nos rótulos ou nos ingredientes do produto. Assim, os alimentos funcionais foram classificados em cinco categorias: alimento, suplementos alimentares, alimento para usos dietéticos especiais, alimento-medicamento ou droga (Noonan e Noonan, 2004). Dentre as substâncias que compõe os alimentos funcionais, os que são ricos em Ácidos graxos  $\omega$ -3, minerais como o selênio e vitaminas como a (vitamina E e A) tem sido bastante estudados. Segundo dados da Abenuutri – Associação Brasileira das Empresas de Produtos Nutricionais, atualmente o setor movimenta cerca de R\$ 500 milhões por ano. Estima-se que só 5% da população brasileira, perto de 10 milhões de pessoas, consumam algum tipo de suplemento para equilibrar a alimentação. A estimativa é de 20% de crescimento ao ano, entretanto, esse mercado é dominado por grandes empresas, assim, o enriquecimento de alimentos com alguma substância funcional e de baixo custo como ovos de codorna, pode ser uma alternativa para o pequeno produtor agregar valor ao seu produto.

#### **14. Equações não-lineares**

A ciência se esforça para compreender o mundo ao seu redor, de forma sistemática, com o objetivo de aumentar o conhecimento humano através do método científico. Assim, tentar expressar os fenômenos de uma forma precisa e clara sempre foi um desafio da ciência, dessa forma, a matemática torna-se uma ferramenta relevante nesse processo, pois permite descrever os fenômenos quantitativamente. Modelos matemáticos é uma representação de um sistema, ou parte dele, e deve prever os efeitos e consequências com as modificações em curso. A modelagem matemática é

usada nas engenharias, física, química e também é utilizado na biologia para descrever os processos fisiológicos, bioquímicos, crescimento populacional dentre outros.

Em experimentos dose-resposta é comum a utilização de modelos lineares para estimar as respostas à adição de um determinado nutriente, porém, há críticas sobre a utilização desses modelos para análise. Uma premissa é que os modelos lineares podem causar superestimativas dos níveis ótimos, uma vez que as respostas se aproximam da “lei dos mínimos retornos” (Oviedo-Rondón e Waldroup, 2002; Pack *et al.*, 2003). O uso de modelo linear até o nível máximo leva geralmente a uma subestimação das exigências (Fisher *et al.*, 1973).

Contudo, a maioria dos fenômenos biológicos se comportam de maneira não-linear, pois a expressão gênica de cada animal é dependente do seu código genético inerente a cada indivíduo. O metabolismo é um fenômeno difícil de compreender porque as reações bioquímicas têm comportamentos geralmente não lineares, podendo ser antagônicas, outras sinérgicas, outras independentes e algumas interagentes (Oviedo-Rondón, 2007). Assim, em alguns casos o uso de modelos não-lineares tornam-se mais eficazes para expressar o comportamento estudado.

Os modelos não-lineares representam relações curvas e têm pelo menos um parâmetro que aparece de forma não linear, isto é, a forma funcional da equação não é linear em relação aos parâmetros desconhecidos (Ratkowski, 1983). A principal vantagem de regressão não-linear dentre outros modelos é o ajuste da curva com ampla gama de funções que podem ser ajustadas, a meta é obter estimativas de parâmetros que minimizam o erro residual, os parâmetros dos modelos fornecem um maior conhecimento sobre o fenômeno em estudo do que os modelos lineares.

Equações lineares podem ser resolvidas diretamente pelo método dos mínimos quadrados, em contrapartida os modelos não lineares somente podem ser resolvidos por métodos numéricos que são de difícil resolução manualmente. Com o avanço da computação novos softwares foram lançados no mercado, conseqüentemente essa tarefa foi simplificada diminuindo o tempo para ajustar os dados. Vários modelos podem convergir a um conjunto de dados específicos, porém, alguns se ajustam melhor aquela determinada situação, para escolha do modelo que melhor se ajusta, é necessário fazer uso de alguns recursos estatísticos. Um modelo, durante o seu desenvolvimento, deve ser avaliado para ver se seus resultados concordam com os conhecimentos disponíveis, para assim ser validado, portanto, é importante selecionar modelos baseados em princípios científicos (Campollo Rivas, 1994; Burnham e Anderson, 2004). Com isso, existem várias procedimentos para seleção de modelos por testes estatísticos específicos, tais quais: Critério de informação de Akaike (AIC), critério de informação Generalizado (GIC), critério de informação Bayesiano dentre outros. É preciso, além da identificação dos objetivos que influenciam no resultado, identificar o limite dentro do qual o modelo é válido, isto é, no qual a predição será confiável, o que deve ocorrer dentro da faixa de valores em que as equações foram geradas (Benigni e Giuliani, 1994).

## 15. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AJAKAIYE, J. J.; PÉREZ, A. B.; MOLLINEDA, A. T. Effects of high temperature on production in layer chickens supplemented with vitamins C and E. **Revista MVZ Cordoba**, v. 16, n. 1, p. 2283-2291, 2011.

ANS, A. N. D. S. **Plano de Reorganização da Atenção à Hipertensão arterial e ao Diabetes mellitus**. 1: 250 p. 2012.

ARNOLD, R. L.; OLSON, O. E.; CARLSON, C. W. Tissue selenium content and serum tocopherols as influenced by dietary type, selenium and vitamin E. **Poult Sci**, v. 53, n. 6, p. 2185-92, 1974.

BABIOR, B. M. Superoxide: a two-edged sword. **Braz J Med Biol Res**, v. 30, n. 2, p. 141-55, 1997.

BENIGNI, R.; GIULIANI, A. Quantitative modeling and biology: the multivariate approach. **Am J Physiol**, v. 266, n. 5 Pt 2, p. R1697-704, 1994.

BERGER, P.; KARPEL VEL LEITNER, N.; DORÉ, M.; LEGUBE, B. Ozone and hydroxyl radicals induced oxidation of glycine. **Water Research**, v. 33, n. 2, p. 433-441, 1999.

BISWAS, A.; MOHAN, J.; SASTRY, K. V.; TYAGI, J. S. Effect of dietary Vitamin E on the cloacal gland, foam and semen characteristics of male Japanese quail. **Theriogenology**, v. 67, n. 2, p. 259-63, 2007.

BLATT, D. H.; PRYOR, W. A.; MATA, J. E.; RODRIGUEZ-PROTEAU, R. Re-evaluation of the relative potency of synthetic and natural alpha-tocopherol: experimental and clinical observations. **J Nutr Biochem**, v. 15, n. 7, p. 380-95, 2004.

BOA-AMPONSEM, K.; PRICE, S. E.; PICARD, M.; GERAERT, P. A.; SIEGEL, P. B. Vitamin E and immune responses of broiler pureline chickens. **Poult Sci**, v. 79, n. 4, p. 466-70, 2000.

BURNHAM, K. P.; ANDERSON, D. R. Multimodel Inference: Understanding AIC and BIC in Model Selection. **Sociological Methods & Research**, v. 33, n. 2, p. 261-304, 2004.

BURTON, G. W.; DOBA, T.; GABE, E.; HUGHES, L.; LEE, F. L.; PRASAD, L.; INGOLD, K. U. Autoxidation of biological molecules. 4. Maximizing the antioxidant

activity of phenols. **Journal of the American Chemical Society**, v. 107, n. 24, p. 7053-7065, 1985.

BURTON, G. W.; INGOLD, K. U. Autoxidation of biological molecules. 1. Antioxidant activity of vitamin E and related chain-breaking phenolic antioxidants in vitro. **Journal of the American Chemical Society**, v. 103, n. 21, p. 6472-6477, 1981.

BURTON, G. W.; TRABER, M. G. Vitamin E: antioxidant activity, biokinetics, and bioavailability. **Annu Rev Nutr**, v. 10, p. 357-82, 1990.

CADENAS, E. Biochemistry of oxygen toxicity. **Annu Rev Biochem**, v. 58, p. 79-110, 1989.

CAMPOLLO RIVAS, O. [Mathematical modelling in medicine and biology. Theoretical basis and fundamentals]. **Rev Invest Clin**, v. 46, n. 4, p. 307-21, 1994.

CEDRO, T. M. M.; CALIXTO, L. F. L.; GASPAR, A.; HORA, A. S. Teores de ácidos graxos em ovos comerciais convencionais e modificados com ômega-3. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, p. 1733-1739, 2010.

CHEN, H.-Y.; CHIANG, S.-H. Effect of dietary polyunsaturated/saturated fatty acid ratio on heat production and growth performance of chicks under different ambient temperature. **Animal Feed Science and Technology**, v. 120, n. 3-4, p. 299-308, 2005.

CORTINAS, L.; VILLAVERDE, C.; GALOBART, J.; BAUCCELLS, M. D.; CODONY, R.; BARROETA, A. C. Fatty acid content in chicken thigh and breast as affected by dietary polyunsaturation level. **Poult Sci**, v. 83, n. 7, p. 1155-64, 2004.

COZZOLINO, S. M. F. Deficiências de minerais. **Estudos Avançados**, v. 60, n. 21, p. 119-26, 2007.

DEL MAESTRO, R. F. An approach to free radicals in medicine and biology. **Acta Physiol Scand Suppl**, v. 492, p. 153-68, 1980.

DONALDSON, W. E. Atherosclerosis in cholesterol-fed Japanese quail: evidence for amelioration by dietary vitamin E. **Poult Sci**, v. 61, n. 10, p. 2097-102, 1982.

EVANS, H. M.; BISHOP, K. S. On the Existence of a Hitherto Unrecognized Dietary Factor Essential for Reproduction. **Science**, v. 56, n. 1458, p. 650-1, 1922.

FERNANDES, J.; MURAKAMI, A.; SAKAMOTO, M.; SOUZA, L.; MALAGUIDO, A.; MARTINS, E. Effects of organic mineral dietary supplementation on production

performance and egg quality of white layers. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, v. 10, p. 59-65, 2008.

FISHER, C.; MORRIS, T. R.; JENNINGS, R. C. A model for the description and prediction of the response of laying hens to amino acid intake. **Br Poult Sci**, v. 14, n. 5, p. 469-84, 1973.

FOOD, U. I. O. M.; ANTIOXIDANTS, N. B. S. C. O. T. S. E. O. D. R. I. P. O. D.; COMPOUNDS, R.; ANTIOXIDANTS, N. B. S. O. U. R. L. O. N. P. O. D.; INTERPRETATION, N. B. S. O.; ANTIOXIDANTS, U. O. D. R. I. P. O. D. **Dietary reference intakes for vitamin c, vitamin e, selenium, and carotenoids: a report**. National Academies Press, 2000.

FRIEDMAN, A.; BARTOV, I.; SKLAN, D. Humoral immune response impairment following excess vitamin E nutrition in the chick and turkey. **Poult Sci**, v. 77, n. 7, p. 956-62, 1998.

FUHRMANN, H.; BALTHAZARY, S. T.; SALLMANN, H. P. Bioefficiency of different tocopherols in chicken as assessed by haemolysis test and microsomal pentane production. **Br J Nutr**, v. 71, n. 4, p. 605-14, 1994.

GALOBART, J.; BARROETA, A. C.; BAUCCELLS, M. D.; CORTINAS, L.; GUARDIOLA, F. Alpha-tocopherol transfer efficiency and lipid oxidation in fresh and spray-dried eggs enriched with omega3-polyunsaturated fatty acids. **Poult Sci**, v. 80, n. 10, p. 1496-505, 2001.

GARCIA, A. P. M. **Qualidade em Alimentação: Nutrição**. São Paulo: 2004. 19

GIROTTI, A. W. Lipid hydroperoxide generation, turnover, and effector action in biological systems. **J Lipid Res**, v. 39, n. 8, p. 1529-42, 1998.

GLADYSHEV, V. N.; HATFIELD, D. L. Selenocysteine-containing proteins in mammals. **J Biomed Sci**, v. 6, n. 3, p. 151-60, 1999.

GOLDBERG, I. **Functional Foods: Designer Foods, Pharmafoods, Nutraceuticals**. Springer, 1994.

GOLZAR ADABI, S. H.; COOPER, R. G.; KAMALI, M. A.; HAJBABAIEI, A. The influence of inclusions of vitamin E and corn oil on semen traits of Japanese quail (*Coturnix coturnix japonica*). **Anim Reprod Sci**, v. 123, n. 1-2, p. 119-25, 2011.

GORE, A. B.; QURESHI, M. A. Enhancement of humoral and cellular immunity by vitamin E after embryonic exposure. **Poult Sci**, v. 76, n. 7, p. 984-91, 1997.

GRANGER, D. N.; RUTILI, G.; MCCORD, J. M. Superoxide radicals in feline intestinal ischemia. **Gastroenterology**, v. 81, n. 1, p. 22-29, 1981.

GROBAS, S.; MENDEZ, J.; LOPEZ, B. C.; DE, B. C.; MATEOS, G. G. Effect of vitamin E and A supplementation on egg yolk alpha-tocopherol concentration. **Poult Sci**, v. 81, n. 3, p. 376-81, 2002.

HAI, L.; RONG, D.; ZHANG, Z. Y. The effect of thermal environment on the digestion of broilers. **J Anim Physiol Anim Nutr (Berl)**, v. 83, n. 2, p. 57-64, 2000.

HALLIWELL, B. How to Characterize a Biological Antioxidant. **Free Radical Research**, v. 9, n. 1, p. 1-32, 1990.

HALLIWELL, B.; GUTTERIDGE, J. M. C. **Free radicals in biology and medicine**. Oxford University Press, 2007.

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**, v. 89, n. 6, p. 1285-92, 2010.

HULL, S. J.; SCOTT, M. L. Studies on the changes in reduced glutathione of chick tissues during onset and regression of nutritional muscular dystrophy. **J Nutr**, v. 106, n. 2, p. 181-90, 1976.

IBGE, I. B. D. G. E. E. **Tabelas de Composição Nutricional dos Alimentos Consumidos no Brasil**. ESTATISTICA 2011.

INCA, I. N. D. C. **Estimativa 2012 – Incidência de Câncer no Brasil**. 1: 200 p. 2011.

INOUE, M.; SATO EISUKE, F.; NISHIKAWA, M.; PARK, A.-M.; KIRA, Y.; IMADA, I.; UTSUMI, K. Mitochondrial Generation of Reactive Oxygen Species and its Role in Aerobic Life. **Curr Med Chem**, v. 10, n. 23, p. 2495-2505, 2003.

JENSEN, C.; SKIBSTED, L. H.; JAKOBSEN, K.; BERTELSEN, G. Supplementation of broiler diets with all-rac-alpha- or a mixture of natural source RRR-alpha-,gamma-,delta-tocopheryl acetate. 2. Effect on the oxidative stability of raw and precooked broiler meat products. **Poult Sci**, v. 74, n. 12, p. 2048-56, 1995.

JIAKUI, L.; XIAOLONG, W. Effect of dietary organic versus inorganic selenium in laying hens on the productivity, selenium distribution in egg and selenium content in blood, liver and kidney. **J Trace Elem Med Biol**, v. 18, n. 1, p. 65-8, 2004.

JOSEF, K. Selenium in biology and medicine—further progress and increasing interest. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, v. 18, n. 1, p. 61-63, 2004.

KAEMPF-ROTZOLL, D. E.; TRABER, M. G.; ARAI, H. Vitamin E and transfer proteins. **Curr Opin Lipidol**, v. 14, n. 3, p. 249-54, 2003.

KAYDEN, H. J.; TRABER, M. G. Absorption, lipoprotein transport, and regulation of plasma concentrations of vitamin E in humans. **J Lipid Res**, v. 34, n. 3, p. 343-58, 1993.

KLING, L. J.; SOARES, J. H., JR.; HALTMAN, W. A. Effect of vitamin E and synthetic antioxidants on the survival rate of mercury-poisoned Japanese quail. **Poult Sci**, v. 66, n. 2, p. 325-31, 1987.

KONJUFCA, V. K.; BOTTJE, W. G.; BERSI, T. K.; ERF, G. F. Influence of dietary vitamin E on phagocytic functions of macrophages in broilers. **Poult Sci**, v. 83, n. 9, p. 1530-4, 2004.

KORVER, D. R. Implications of changing immune function through nutrition in poultry. **Animal Feed Science and Technology**, n. 0, 2012.

KU, P. K.; ELY, W. T.; GROCE, A. W.; ULLREY, D. E. Natural dietary selenium, -tocopherol and effect on tissue selenium. **J Anim Sci**, v. 34, n. 2, p. 208-11, 1972.

LEESON, S.; CASTON, L. J. Vitamin Enrichment of Eggs. **The Journal of Applied Poultry Research**, v. 12, n. 1, p. 24-26, 2003.

LESHCHINSKY, T. V.; KLASING, K. C. Relationship between the level of dietary vitamin E and the immune response of broiler chickens. **Poult Sci**, v. 80, n. 11, p. 1590-9, 2001.

MAHMOUD, K. Z.; EDENS, F. W. Influence of selenium sources on age-related and mild heat stress-related changes of blood and liver glutathione redox cycle in broiler chickens (*Gallus domesticus*). **Comp Biochem Physiol B Biochem Mol Biol**, v. 136, n. 4, p. 921-34, 2003.

\_\_\_\_\_. Influence of organic selenium on hsp70 response of heat-stressed and enteropathogenic Escherichia coli-challenged broiler chickens (Gallus gallus). **Comp Biochem Physiol C Toxicol Pharmacol**, v. 141, n. 1, p. 69-75, 2005.

MELUZZI, A.; SIRRI, F.; MANFREDA, G.; TALLARICO, N.; FRANCHINI, A. Effects of dietary vitamin E on the quality of table eggs enriched with n-3 long-chain fatty acids. **Poult Sci**, v. 79, n. 4, p. 539-45, 2000.

MEYDANI, S. N.; BEHARKA, A. A. Recent developments in vitamin E and immune response. **Nutr Rev**, v. 56, n. 1 Pt 2, p. S49-58, 1998.

NEUMANN, P.; DE LA CRUZ, A. I.; ABREU, E. S. D.; TORRES, E. A. F. D. S. Alimentos saudáveis, alimentos funcionais, fármaco alimentos, nutracêuticos...: Você já ouviu falar? **Hig. aliment**, v. 71, n. 14, p. 1-17, 2000.

NIU, Z. Y.; LIU, F. Z.; YAN, Q. L.; LI, W. C. Effects of different levels of vitamin E on growth performance and immune responses of broilers under heat stress. **Poult Sci**, v. 88, n. 10, p. 2101-7, 2009.

NOONAN, W. P.; NOONAN, C. Legal requirements for “functional foods” claims. **Toxicology Letters**, v. 150, n. 24, p. 10 - 24, 2004.

OLIVEIRA, D. D.; BAIAO, N. C.; CANCADO, S. V.; GRIMALDI, R.; SOUZA, M. R.; LARA, L. J.; LANA, A. M. Effects of lipid sources in the diet of laying hens on the fatty acid profiles of egg yolks. **Poult Sci**, v. 89, n. 11, p. 2484-90, 2010.

OLSZEWER, E. **Radicais livres em medicina**. Fundo Editorial BYK, 1995.

OVIEDO-RONDÓN, E. O. Modelagem por compartimentos para integrar e comunicar conhecimento em nutrição. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, p. 305-313, 2007.

OVIEDO-RONDÓN, E. O.; WALDROUP, P. W. Models to Estimate Amino Acid Requirements for Broiler Chickens: A Review. **International Journal of Poultry Science**, v. 1, n. 5, p. 106 - 113, 2002.

PACK, M.; HOEHLER, D.; LEMME, A. Economic Assessment of Amino Acid Responses in Growing Poultry. In: PUBLISHING, C. (Ed.). **Amino Acids in Animal Nutrition**. Wallingford, Oxon: Cabi, v.2, 2003. cap. 25, p.459-483.

PAN, C.; HUANG, K.; ZHAO, Y.; QIN, S.; CHEN, F.; HU, Q. Effect of selenium source and level in hen's diet on tissue selenium deposition and egg selenium concentrations. **J Agric Food Chem**, v. 55, n. 3, p. 1027-32, 2007.

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. **Poult Sci**, v. 84, n. 6, p. 865-74, 2005.

\_\_\_\_\_. Effects of supplementing broiler breeder diets with organoselenium compounds and polyunsaturated fatty acids on hatchability. **Poult Sci**, v. 85, n. 9, p. 1584-93, 2006.

PAVLOVIC, Z.; MILETIC, I.; JOKIC, Z.; SOBAJIC, S. The effect of dietary selenium source and level on hen production and egg selenium concentration. **Biol Trace Elem Res**, v. 131, n. 3, p. 263-70, 2009.

PERIĆ, L.; MILOŠEVIĆ, N.; ŽIKIĆ, D.; KANAČKI, Z.; DŽINIĆ, N.; NOLLET, L.; SPRING, P. Effect of selenium sources on performance and meat characteristics of broiler chickens. **The Journal of Applied Poultry Research**, v. 18, n. 3, p. 403-409, 2009.

PETERSON, R. P.; JENSEN, L. S. Induced exudative diathesis in chicks by dietary silver. **Poult Sci**, v. 54, n. 3, p. 795-8, 1975.

QURESHI, A. A.; BRADLOW, B. A.; SALSER, W. A.; BRACE, L. D. Novel tocotrienols of rice bran modulate cardiovascular disease risk parameters of hypercholesterolemic humans. **The Journal of Nutritional Biochemistry**, v. 8, n. 5, p. 290-298, 1997.

RATKOWSKI, D. A. **Nonlinear Regression Modeling**. New York: Marcel Dekker, 1983. 341

RAYMAN, M. P. Selenium in cancer prevention: a review of the evidence and mechanism of action. **Proc Nutr Soc**, v. 64, n. 4, p. 527-42, 2005.

SAHIN, K.; ONDERCI, M.; SAHIN, N.; GULCU, F.; YILDIZ, N.; AVCI, M.; KUCUK, O. Responses of quail to dietary Vitamin E and zinc picolinate at different environmental temperatures. **Animal Feed Science and Technology**, v. 129, n. 1-2, p. 39-48, 2006.

SAHIN, K.; SAHIN, N.; ONDERCI, M. Vitamin E supplementation can alleviate negative effects of heat stress on egg production, egg quality, digestibility of nutrients and egg yolk mineral concentrations of Japanese quails. **Res Vet Sci**, v. 73, n. 3, p. 307-12, 2002.

SAHIN, K.; SAHIN, N.; SARı, M.; GURSU, M. F. Effects of vitamins E and A supplementation on lipid peroxidation and concentration of some mineral in broilers reared under heat stress (32°C). **Nutrition Research**, v. 22, n. 6, p. 723-731, 2002.

SALONEN, J. T.; ALFTHAN, G.; HUTTUNEN, J. K.; PIKKARAINEN, J.; PUSKA, P. Association between cardiovascular death and myocardial infarction and serum selenium in a matched-pair longitudinal study. **Lancet**, v. 2, n. 8291, p. 175-9, 1982.

SANTOS, M. J. B. D. **Sistema de produção de frangos de corte caipira com piquetes enriquecidos e sua influência no bem-estar animal e desempenho zootécnico**. 2009. 87 Dissertação de Mestrado (Mestrado em ambiencia animal). Departamento de engenharia agrícola, UFRPE, Recife.

SCHEIDELER, S. E.; WEBER, P.; MONSALVE, D. Supplemental vitamin E and selenium effects on egg production, egg quality, and egg deposition of  $\alpha$ -tocopherol and selenium. **Journal of Applied Poultry Research**, v. 19, n. 4, p. 354-360, 2010.

SCHNEIDER, C. D.; OLIVEIRA, A. R. D. Radicais livres de oxigênio e exercício: mecanismos de formação e adaptação ao treinamento físico. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, v. 10, p. 308-313, 2004.

SCOTT, H. M.; NOTZOLD, R. A.; MOELLER, M. W.; FISHER, H. Nutritional Factors in Relation to the Expression of Vitamin E Deficiency Symptoms in Chicks. **Poult Sci**, v. 36, n. 5, p. 949-953, 1957.

SCOTT, M. L.; THOMPSON, J. N. Selenium content of feedstuffs and effects of dietary selenium levels upon tissue selenium in chicks and poults. **Poult Sci**, v. 50, n. 6, p. 1742-8, 1971.

SHI, J.; MAZZA, G.; MAGUER, M. L. **Functional Foods: Biochemical and Processing Aspects**. Taylor & Francis, 2002.

SIES, H. **Oxidative stress: oxidants and antioxidants**. Academic Press, 1991.

SIES, H.; STAHL, W.; SUNDQUIST, A. R. Antioxidant functions of vitamins. Vitamins E and C, beta-carotene, and other carotenoids. **Ann N Y Acad Sci**, v. 669, p. 7-20, 1992.

SPURLOCK, M. E.; SAVAGE, J. E. Effect of Dietary Protein and Selected Antioxidants on Fatty Liver Hemorrhagic Syndrome Induced in Japanese Quail. **Poult Sci**, v. 72, n. 11, p. 2095-2105, 1993.

SURAI, P. F. Effect of selenium and vitamin E content of the maternal diet on the antioxidant system of the yolk and the developing chick. **Br Poult Sci**, v. 41, n. 2, p. 235-43, 2000.

SURAI, P. F.; BLESBOIS, E.; GRASSEAU, I.; CHALAH, T.; BRILLARD, J. P.; WISHART, G. J.; CEROLINI, S.; SPARKS, N. H. Fatty acid composition, glutathione peroxidase and superoxide dismutase activity and total antioxidant activity of avian semen. **Comp Biochem Physiol B Biochem Mol Biol**, v. 120, n. 3, p. 527-33, 1998.

TABOR, A.; BLAIR, R. M. **Nutritional Cosmetics: Beauty from Within**. William Andrew, 2009.

UPTON, J. R.; EDENS, F. W.; FERKET, P. R. The effects of dietary oxidized fat and selenium source on performance, glutathione peroxidase, and glutathione reductase activity in broiler chickens. **The Journal of Applied Poultry Research**, v. 18, n. 2, p. 193-202, 2009.

UTTERBACK, P. L.; PARSONS, C. M.; YOON, I.; BUTLER, J. Effect of supplementing selenium yeast in diets of laying hens on egg selenium content. **Poult Sci**, v. 84, n. 12, p. 1900-1, 2005.

VOLJC, M.; FRANKIC, T.; LEVART, A.; NEMEC, M.; SALOBIR, J. Evaluation of different vitamin E recommendations and bioactivity of alpha-tocopherol isomers in broiler nutrition by measuring oxidative stress in vivo and the oxidative stability of meat. **Poult Sci**, v. 90, n. 7, p. 1478-88, 2011.

WEISER, H.; RISS, G.; KORMANN, A. W. Biodiscrimination of the eight alpha-tocopherol stereoisomers results in preferential accumulation of the four 2R forms in tissues and plasma of rats. **J Nutr**, v. 126, n. 10, p. 2539-49, 1996.

YAP, S. P.; YUEN, K. H.; WONG, J. W. Pharmacokinetics and bioavailability of alpha-, gamma- and delta-tocotrienols under different food status. **J Pharm Pharmacol**, v. 53, n. 1, p. 67-71, 2001.

YOON, I.; WERNER, T. M.; BUTLER, J. M. Effect of source and concentration of selenium on growth performance and selenium retention in broiler chickens. **Poult Sci**, v. 86, n. 4, p. 727-30, 2007.

YOUNG, L. G.; LUN, A.; POS, J.; FORSHAW, R. P.; EDMEADES, D. Vitamin E Stability in Corn and Mixed Feed. **J Anim Sci**, v. 40, n. 3, p. 495-499, 1975.

ZELENKA, J.; FAJMONOVA, E. Effect of age on utilization of selenium by chickens. **Poult Sci**, v. 84, n. 4, p. 543-6, 2005.

## **Capítulo II**

**Desempenho e qualidade dos ovos de codornas japonesas**

**suplementadas com Selênio e Vitamina E**

## **Desempenho e qualidade dos ovos de codornas japonesas suplementadas com Selênio e Vitamina E**

### **RESUMO**

Um experimento foi conduzido para verificar o desempenho e a qualidade dos ovos de codornas japonesas suplementadas com selênio (Se) e vitamina E. Foram alojadas 200 codornas com 45 dias de vida. Foram quatro tratamentos com 10 aves por parcela e cinco repetições. As rações experimentais foram suplementadas com Sequelatado e vitamina E acetato de dl- $\alpha$ -tocoferil na proporção de 0,2 ppm selênio (SEL), 20 mg/kg vitamina E (VITE), 0,2 ppm Se e 20 mg/kg de vitamina E (SELVIT) e ração testemunha (TEST). Os ovos foram contabilizados e pesados diariamente até o 112º dia e a cada 28 dias três ovos foram coletados com pesos mais próximos a média e analisados quanto a qualidade no laboratório de nutrição animal. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado. As variáveis estudadas para desempenho foram: taxa de postura, peso dos ovos, consumo de ração, massa dos ovos, conversão alimentar por massa e por dúzia de ovos. As variáveis avaliadas para a qualidade foram: gravidade específica, peso e cor da gema, altura de albúmen e espessura da casca, unidade Haugh, percentagem de: albúmen, gema e casca. Os dados foram submetidos a análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Foi observada diferença estatística apenas para as variáveis de qualidade dos ovos, como: altura do albúmen com maior valor para os tratamentos TEST e SEL não diferindo entre si 5,31 e 5,23 mm. A maior espessura da casca foi observado no tratamento SELVIT, diferindo dos demais tratamentos. O menor valor para unidade Haugh foi observado no tratamento SELVIT diferindo dos demais tratamentos. Para as demais variáveis não foram observadas diferenças estatísticas. A

suplementação de Vitamina E e Se não influenciam o desempenho produtivo das codornas, mas melhora a EC e aumenta a deposição desses nutrientes nos ovos.

**PALAVRAS CHAVE:** aves, mineral quelatado, ovos, postura

## ABSTRACT

An experiment was conducted to verify the performance and egg quality of Japanese quails supplemented with selenium (Se) and vitamin E. 200 quails were housed at 45 days of life in cages with five floors and dimensions (33cm x 25cm x 20cm). There were four treatments with 10 birds per pen and five replications. The experimental diets were supplemented with Vitamin E and selenomethionine dl- $\alpha$ -tocopherol in the ratio of 0.2 ppm selenium (SEL), 20 mg / kg vitamin E (VITE), 0.2 ppm Se and 20 mg / kg vitamin E (SELVIT) and control diet (TEST). The eggs were counted and weighed daily until the 112th day and every 28 days three eggs were collected with weights closer to the mean and analyzed for quality in laboratory animal nutrition. The experimental design was completely randomized. The variables studied were for performance: laying rate, egg weight (PO), feed intake (FI), egg mass (MO), feed conversion by mass (CM) and per dozen eggs (CDZ). The parameters were evaluated for quality: specific gravity (SG), weight and yolk color, albumen height (AA), weight (PC) and shell thickness (EC), Haugh unit (HU), percentage of: albumen yolk and shell. Data were subjected to analysis of variance and means were compared by Tukey test ( $P < 0.05$ ) in the SAS statistical package. Statistical difference was observed only for egg quality parameters, such as AA with greater value to TEST and VITE no differences between 5.30 and 5.23 mm. PC with greater value for birds and the TEST VITE, did not differ from 0.94 g. Treatment VITE was presented the lowest value of 4.41 g PG differs from the other treatments was highest for treatment TEST 4.56 g.

Treatment SE was what obtained the smaller scale color (3) and 80.37 UH not differing treatment SELVIT 81.29, the highest average was 83.57 with TEST treatment. In the EC SELVIT was what earned the highest average 0.26 mm differing from other

treatments. For the other parameters were not statistically different. Supplementation of vitamin E and Se did not influence productive performance of quails, but improves the EC and AA.

**KEYWORDS:** tocopherol, chelated mineral, eggs, poultry

## INTRODUÇÃO

O estresse oxidativo é uma condição gerada no organismo quando existe um embalanceamento entre oxidantes e antioxidantes trazendo consequências ao animal por produzir compostos tóxicos e dano tecidual. Esse processo foi bem caracterizado por (Del Maestro, 1980; Granger *et al.*, 1981). O processo depois de iniciado só cessa quando houver uma quebra destes radicais livres por meio de antioxidantes, bloqueando a reação em cadeia (Halliwell *et al.*, 2007).

Nas proteínas, os radicais livres interagem na cadeia lateral atacando preferencialmente os aminoácidos como: cistina, histidina, triptofano, metionina e fenilalanina, acarretando em danos através de clivagem de ligações. Assim, pode causar perda da atividade enzimática, comprometendo o transporte das membranas e morte celular (Berger *et al.*, 1999). Outras doenças podem ser desencadeadas pelo estresse oxidativo como, câncer, diabetes e doenças cardiovasculares (Surai, 2002).

Em regiões de clima quente o animal aumenta a taxa respiratória como mecanismo para dissipar o calor acumulado e, conseqüentemente, há uma elevação da taxa de O<sub>2</sub> no organismo que aumenta o estresse oxidativo (Santos, 2009). Entretanto, é uma prática comum a utilização de rações ricas em lipídeos para diminuir o incremento calórico (Berger *et al.*, 1999). Com isso, a peroxidação lipídica, principalmente dos ácidos graxos poli-insaturados (PUFAs) pode aumentar o estresse oxidativo, deixando-as ainda mais susceptíveis a esse efeito. Atenção especial deve ser dada a rações ricas em PUFAs, pois altas concentrações podem ocasionar numa redução na concentração de  $\alpha$ -tocoferol na gema dos ovos de galinhas (Meluzzi *et al.*, 2000).

Existem dois sistemas naturais para redução de radicais livres que atuam impedindo ou eliminando sua formação, o sistema enzimático e o não enzimático (Olszewer, 1995). O sistema enzimático é composto pelas enzimas da família glutathione peroxidase, catalase e superóxido desmutase. O sistema não enzimático são moléculas exógenas, ou seja, é necessária a ingestão por via de alimentos ou como complementos nutricionais. Essas podem ser vitaminas lipossolúveis e hidrossolúveis exemplos: Vitamina E e C.

O Selênio (Se) é um mineral constituinte de um antioxidante natural (glutathione peroxidase) de grande importância em processos metabólicos animal e humano. Sua função é a proteção celular contra a peroxidação, por isso torna-se um elemento essencial na dieta. As selenoproteínas participam na regulação de várias funções fisiológicas, incluindo a proteção antioxidante, a regulação redox de expressão gênica, metabolismo da tireoide e manutenção da estrutura do espermatozoide (Surai, 2002).

A vitamina E, também, na forma de tocoferóis age como uma cadeia antioxidante, impedindo a maior proliferação de auto-oxidação de ácidos graxos poli-insaturados nas membranas ou lipoproteínas (Sies *et al.*, 1992).

Além disso, o uso de Se e vitamina E podem enriquecer os ovos, assim trazem benefícios diretos à saúde humana, pois tem efeito positivo no tratamento de problemas cardiovasculares dentre outros. O consumo de moléculas bioativas tem sido uma preocupação por uma parcela da população que procura alimentos mais saudáveis e que traga benefício a saúde. Os ovos são um excelente veículo para essas moléculas por ser de baixo custo e acessíveis a todas as camadas da sociedade. Em países como Canadá e EUA, o consumo de ovos enriquecidos é uma realidade e soma-se mais de 5% da produção total com tendência de crescimento (Leeson *et al.*, 2003). Assim, o presente

estudo foi realizado para verificar o efeito da suplementação de Se e vitamina E sobre o desempenho e qualidade dos ovos de codornas japonesas, bem como o potencial de enriquecimento desses ovos.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi executado no Laboratório de Digestibilidade de Animais não-ruminantes, do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal Rural de Pernambuco. Foram adquiridas 600 codornas fêmeas de um dia de idade adquiridas na granja Fujikura. As aves foram criadas até os 30 dias no piso, dispostas em círculos de Eucatex<sup>®</sup> devidamente aquecidos com temperatura média de acordo com a idade. Em seguida as codornas foram alojadas em 20 gaiolas de arame galvanizado, medindo 0,33 m de comprimento x 0,25 m de largura x 0,20 m de altura, dispostas em três andares, montadas em esquema de arquibancadas. As codornas receberam água e ração à vontade, em bebedouros do tipo *copinho* e comedouros tipo calha de chapa galvanizada e foram submetidas a 17 horas de luz diária, (natural e artificial) e permaneceram durante todo o período experimental. Aos 45 dias de vida foram selecionadas 200 codornas com variação de 5% do peso médio e acompanhadas durante 10 dias a sua respectiva produção de ovos para montar o delineamento experimental.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado (DIC), contendo quatro tratamentos e cinco repetições com dez codornas por unidade experimental. O período experimental foi de 112 dias. Foram formuladas quatro rações experimentais baseadas nas exigências nutricionais para codornas japonesas em postura conforme Silva (2009), como apresentado na Tabela 1. Em seguida, as rações experimentais

foram suplementadas com vitamina E (acetato de DL- $\alpha$ - tocoferil) e selênio quelatado em matriz orgânica. Os tratamentos foram: ração referência sem suplementação (TEST), ração referência mais 0,2 ppm de Se (SEL); Ração referência mais 20 mg/kg de acetato de DL- $\alpha$ - tocoferil (VITE) e ração referência mais 0,2 ppm de Se mais 20 mg/kg de DL- $\alpha$ - tocoferil (SELVIT).

Tabela 1. Ração referência para codornas japonesas em postura<sup>1</sup>

Ingredientes	%
Milho	56,04
Farelo de Soja	33,82
Óleo de soja	2,71
DL-Metionina	0,07
Calcário	5,182
Fosfato Bicálcico	1,32
Cloreto de Sódio	0,33
Suplemento Vitamínico e Mineral <sup>1</sup>	0,50
<b>Composição Nutricional</b>	
Energia metabolizável (kcal/kg)	2900
Proteína Bruta	20,00
Metionina+cistina digestível (%)	0,82
Metionina digestível (%)	0,50
Lisina digestível (%)	1,30
Treonina digestível (%)	0,76
Cálcio %	0,80
Fósforo disponível %	0,30
Sódio %	0,15

<sup>1</sup> Quantidade/kg de Produto: vit.A 1600000 UI, vit. D3 400000 UI, vit. E 3000 mg, vit. K3 400 mg, vit. B2 800 mg, vit. B6 200 mg, vit. B12 2000 mcg, niacina 4000 mg, ác. pantotênico 1400 mg, ác. fólico 60 mg, biotina 4 mg, manganês, 14000 mg, zinco 12000 mg, ferro 10000 mg, cobre 1700 mg, iodo 200 mg, selênio 50 mg, cobalto 40 mg, metionina 200000 mg, colina 36450 mg, , antioxidante 30000 mg, veículo q.s.p. 1000 mg.

A temperatura, umidade relativa, produção de ovos e os pesos dos ovos foram averiguados diariamente e anotados. A temperatura média dentro da sala foi de 23°C  $\pm$  2° e umidade relativa de 60%  $\pm$  5%. O período experimental foi de 112 dias, divididos em quatro ciclos de 28 dias.

Semanalmente foram coletadas as sobras de rações de cada parcela para cálculo do consumo de ração. As variáveis de desempenho avaliadas foram: percentagem de postura, peso dos ovos (PO, g), massa de ovos produzida (MO, g/ave/dia), consumo de ração (CR, g/ave/dia), conversão alimentar por dúzia (CDZ, g;dz) e por massa de ovos (CMO, g/ave/dia). A cada 28 dias foram coletados quatro ovos por parcela experimental e analisados para averiguar a qualidade dos mesmos. As variáveis analisadas consistiam de: cor da gema (CG) (leque DSM/Roche), unidade Haugh (UH) descrito por Brant *et al.* (1951), altura do albúmen (AA, mm), espessura de casca (EC, mm), gravidade específica (GE), peso da gema, da clara e da casca para posterior apresentação dos percentuais em relação ao peso dos ovos (percentagem de gema (PG), albúmen (PA) e casca (PC)).

Para determinação da GE foram preparadas nove soluções que consistiam de água e cloreto de sódio com densidades que variavam de 1,05 a 1,090, com intervalos de 0,05 a cada solução. As densidades foram aferidas por meio de um densímetro de petróleo, após preparação da solução os ovos eram identificados, pesados e mergulhados nas soluções para que se obtivesse a gravidade dos mesmos.

Aos 84 dias do experimento quatro ovos de cada tratamento foram coletados, acondicionados em recipiente com proteção para os ovos. Logo em seguida foram enviados para análise de Se no albúmen e casca dos ovos e vitamina E na gema e albúmen no laboratório de nutrição da UFMG. As análises de Se e Vitamina E foram realizadas em HPLC. Os dados foram submetidos a análise de homocedasticidade pelo teste de Brown e Forsythe's e logo confirmada à normalidade dos dados as médias foram submetidas ao teste de variância e em

seguida foi aplicado o teste de Tukey a 5% de probabilidade pelo programa estatístico (SAS, 2004).

## RESULTADOS

O suprimento de Se e Vitamina E na dieta das codornas não influenciaram nas variáveis de desempenho das aves (Tabela 2).

Tabela 2. Desempenho de codornas suplementadas com selênio e vitamina E

Variáveis <sup>1</sup>	Tratamentos					
	TEST	VITE	SEL	VITSEL	P	CV%
Postura (%)	92,87	92,07	92,92	92,49	0,659	1,44
PO (g/g)	11,90	12,02	11,81	12,02	0,546	2,78
CR (g/ave/dia)	25,30	24,60	23,90	24,90	0,342	3,27
MO (g/g)	11,05	11,06	10,97	11,11	0,071	3,03
CMO (g/ ave/dia)	2,29	2,24	2,19	2,25	0,076	5,45
CDZ (g/dz)	327	322	309	323	0,225	3,72

Números seguidos de letra diferentes na mesma linha diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.<sup>1</sup> peso dos ovos (PO), consumo de ração (CR), massa de ovos (MO), conversão por massa de ovos (CMO) e conversão por dúzia de ovos (CDZ)

(TEST) testemunha, (VITE) ração referencia mais 20 mg/kg vitamina E, SEL ração referencia mais 0,2 ppm de Se, (VITSEL) 0,2 ppm Se e 20 mg/kg de vitamina E

As aves que consumiram a dieta suplementada com apenas Se ou o grupo sem suplementação, foram as que apresentaram as maiores médias da AA (4,79 x 5,23 mm) (Tabela 3).

Com base nas médias obtidas, a suplementação de Vitamina E associado ao Se (VITSEL) na dieta das codornas influenciou a EC, obtendo a maior média, com uma diferença de até 14% em relação aos demais tratamentos. Observou-se que a suplementação de vitamina E influenciou negativamente a UH apresentando a

menor média dentre os tratamentos estudados (83,07 x 80,38). O acréscimo de Se e vitamina E nas rações não influenciaram as médias de GE, cor, PA, PG e PC.

Tabela 3. Qualidade de ovos de codorna suplementadas com selênio e vitamina E

Variáveis <sup>1</sup>	Tratamentos					
	TEST	VIT	SEL	VITSEL	P	CV%
PO (g,g)	11,90	12,02	11,81	12,02	0,546	2,78
AA (mm)	5,31 a	4,79 b	5,23 a	4,93 b	0,001	2,06
EC (mm)	0,229 b	0,232 b	0,223 b	0,261 a	0,038	2,34
UH	83,58 a	80,38 b	83,07 a	81,29 b	0,003	1,55
GE	1,074 a	1,073 a	1,075 a	1,073 a	0,392	0,14
CG	3,46 a	3,06 a	3,46 a	3,35 a	0,07	6,36
PA (%)	55,57 a	53,94 a	55,23 a	54,99 a	0,149	2,00
PG (%)	36,79 a	38,11 a	37,09 a	37,18 a	0,167	2,46
PC (%)	7,63 a	7,94 a	7,67 a	7,83 a	0,178	3,08

Números seguidos de letra diferentes na mesma linha diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. <sup>1</sup>Altura de albúmen (AA), Espessura da casca (EC), unidade Haugh (UH), gravidade específica (GE), cor da gema (CG), percentagem do albúmen (PA), percentagem da gema (PG) e percentagem da casca (PC)

(TEST) testemunha, (VITE) ração referência mais 20 mg/kg vitamina E, SEL ração referência mais 0,2 ppm de Se, (VITSEL) 0,2 ppm Se e 20 mg/kg de vitamina E

As codornas do tratamento VITSEL foram as que depositaram os maiores valores de vitamina E nos ovos não diferindo do tratamento VITE, com uma diferença na taxa de deposição de 141% em relação ao grupo não suplementado (Tabela 4).

Tabela 4. Deposição de Selênio e vitamina E em ovos e casca de codornas japonesas

Variáveis	Tratamentos				P	CV%
	TEST	VITE	SEL	VITSEL		
Vitamina E no ovo (mg/g)	46,910 c	62,070 a	54,360 b	66,230 a	0,001	3,57
Selênio no ovo (ppm)	0,430 c	0,530 bc	0,630 ab	0,650 a	0,002	9,33
Selênio na casca (ppm)	0,148	0,148	0,145	0,145	0,831	3,7

Números seguidos de letra diferentes na mesma linha diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

(TEST) testemunha, (VITE) ração referência mais 20 mg/kg vitamina E, SEL ração referência mais 0,2 ppm de Se, (VITSEL) 0,2 ppm Se e 20 mg/kg de vitamina E

Observou-se que o tratamento SEL, proporcionou um valor intermediário de deposição de vitamina E com média superior ao tratamento TEST e diferença na taxa de deposição de 9%.

A deposição de Se nos ovos apresentou comportamento similar à deposição de vitamina E, onde a maior taxa de incorporação nos ovos foi observada no tratamento VITSEL juntamente com os animais do tratamento SEL. Contudo, foi observada uma diferença de deposição quando comparado ao controle de até 51%.

As aves que consumiram a dieta apenas com suplementação de vitamina E (VITE) e Se (SEL), apresentaram um valor intermediário de deposição de Se. Quando foi comparado com as aves que consumiram a dieta TEST, a diferença na deposição foi de 23% de incorporação de Se nos ovos.

A suplementação de Se e vitamina E nas aves não influenciou a deposição de Se na casca dos ovos.

## DISCUSSÃO

Os resultados demonstraram que a suplementação de Se e vitamina E é eficaz para aumentar a concentração desses nutrientes nos ovos. A recomendação do NRC (1994) para codornas japonesas é de 0,2 mg/kg de Se, portanto, a suplementação de 0,2 ppm de Se quelatado na associado a 20 mg/kg de vitamina E garante um efeito superior na deposição destes nos ovos das codornas, quando comparamos estes dois nutrientes isoladamente. Entretanto, o comportamento das médias evidencia um efeito sinérgico entre o Se e a vitamina E, no qual o tratamento apenas suplementado com vitamina (VITE), quando comparado ao grupo controle, indica maior deposição de Se nos ovos. Ou seja, a presença de vitamina E diminui a demanda de Se no metabolismo animal, deixando-o mais disponível para a deposição nos ovos. O mesmo efeito é observado no sentido inverso. A eficiência do enriquecimento da vitamina E nos ovos das codornas deste experimento teve efeito proporcional à adição dessa vitamina na dieta. Semelhantemente, Mori *et al.* (2003) encontraram o mesmo efeito, os autores adicionaram 200, 400 e 600 UI/kg de vitamina E na dieta de galinhas, denotaram deposição de 160,6; 264,1 e 383,2 mg de vitamina E por grama de gema de ovo, respectivamente. Semelhantemente, Pita *et al.* (2004), verificaram uma deposição de  $\alpha$ -tocoferol na gema diretamente proporcional ao fornecido pela ração.

Na deposição de Se Pan *et al.* (2007), confirmam os achados deste trabalho, onde os autores verificaram uma melhora na taxa de deposição nos ovos de galinhas de postura de até 200% de Se nos ovos em comparação ao grupo controle. Scheideler *et al.* (2010), observaram 36% mais Se na gema dos ovos quando galinhas foram suplementadas com 0,75 mg de Se em detrimento das aves que consumiram 0,55 mg. Porém, os autores não encontraram efeito quando associaram Se e Vitamina E.

A deposição de Se na casca deste experimento não está de acordo com Surai *et al.* (2006), que na inclusão de 0,5 ppm de Se em dietas para codornas perceberam um aumento da deposição desse mineral na casca dos ovos quando comparados as aves não suplementadas.

Essas diferenças no índice de deposição podem ser atribuídas à espécie animal estudada, como também aos níveis de alguns aminoácidos na dieta. Pois, selenometionina sofre competição com metionina no sítio de absorção e selenocisteína sofre inibição competitiva com cisteína, lisina e arginina (Wolffram *et al.*, 1989).

Quando se compara o tratamento SEL com o tratamento TEST, observa-se que a presença desse mineral na dieta não melhora a AA dos ovos, entretanto, a presença da vitamina E demonstra um efeito inverso ao Se deprimindo essa variável. Esses resultados não estão de acordo com Kirunda *et al.* (2001) que ao adicionar  $\alpha$  – tocoferol não encontraram influência na AA dos ovos de galinhas. Entretanto, Arpášová *et al.* (2009) observaram maior AA quando utilizaram quatro mg/kg de Se quelatado na dietas de galinhas. O conteúdo e a natureza das ovomucinas parecem ser primariamente responsáveis pela determinação da AA, porém essa redução pode ter várias causas como a proteólise da ovomucina, clivagem das pontes de dissulfetos e interações entre  $\alpha$  e  $\beta$  ovomucinas (Stevens, 1996). A decomposição do albúmen aumenta a sua fluidez, ocasionando perda da altura e consistência, com isso a sua acidez altera. Quando o pH altera, a qualidade dos ovos diminuem. Contudo, a diluição do albúmen é relatada com a degradação da ovomucina, ou seja, a alteração do pH dissocia o complexo ovomucina – carboidrato, resultando na diluição do albúmen (Kato e Sato, 1972). Quando níveis maiores de  $\alpha$  – tocoferol são adicionados a dieta de galinhas de postura, há uma queda do pH do albúmen. Scheideler *et al.* (2010) averiguaram que à medida que os níveis de vitamina E (50, 100 e 150 mg/kg) aumentaram nas rações, houve um efeito

inversamente proporcional entre o pH e vitamina. Os valores de vitamina E deste estudo (20 mg/kg) possivelmente alteraram o pH nos ovos, que explica a menor medida da AA dos tratamentos que a vitamina esteve presente.

A melhora na qualidade dos ovos é um fator que beneficia o ser humano ao diminuir os riscos de uma possível contaminação por microrganismos, e prolongamento do tempo de prateleira. A qualidade da casca e a UH são variáveis determinantes para essa qualidade. No presente experimento a melhora da qualidade da casca é observada quando há a associação de Se e vitamina E nas dietas dos animais. Esses dados não estão de acordo com os achados de Pavlović *et al.* (2010), onde a inclusão de Se em matriz orgânica (0,4 ou 0,8 mg/kg) não influenciou a espessura nem a resistência da casca de galinhas de postura. Por outro lado, Fernandes *et al.* (2008) concluíram que a suplementação de Se quelatado em rações de galinhas de postura melhorou a qualidade da casca, contudo não observaram efeito na adição de Se sobre a espessura da mesma. Pita *et al.* (2004) também não encontraram melhora na qualidade da casca quando adicionaram  $\alpha$  – tocoferol na dieta de galinhas de postura.

A UH é um meio de avaliação da qualidade interna dos ovos, é de fácil aplicação e é definida como uma importante variável na avaliação da qualidade interna dos ovos (Williams, 1992). Entretanto, é necessário observar que essa medida tem pouca relação com parâmetros da qualidade nutricional (Sauveur e Carbó, 1993). Portanto, como a UH é definida pelo peso e AA dos ovos, a UH foi menor nos tratamentos que a suplementação de vitamina E esteve presente. As médias não foram consistentes com os relatos de Arpášová *et al.* (2009), que encontraram maiores médias para UH quando as aves consumiram 0,4 mg/kg de Se independente da fonte (quelatado e não-quelatado). Sahin *et al.* (2003) também observaram maior UH quando associaram 250 mg/kg de

vitamina E com 0,2 ppm de Se na dieta de codornas japonesas submetidas a estresse calórico.

As médias da cor e PA, PG e PC concordam com os relatos de Christaki *et al.* (2011) que ao adicionarem 300 UI/kg de vitamina E para codornas, não encontraram efeito nos ovos das aves; o mesmo foi relatado por Gürbüz *et al.* (2012), que não encontraram efeito na suplementação de 0,3 mg/kg de Se em matriz orgânica para GE, percentagem de: albúmen, gema e casca.

O fornecimento de Se e vitamina E na ração basal das aves, parece ter sido suficiente para garantir o desempenho zootécnico das aves, e as mesmas não apresentaram sinais de estresse imunológico e calórico, esses fatores poderiam alterar a exigência desses nutrientes. Sendo assim, o maior aporte desses nutrientes na dieta das aves não influenciaram estatisticamente estas variáveis. Pita *et al.* (2004), utilizando três níveis de  $\alpha$ -tocoferol não encontraram efeito para postura, PO, consumo e CDZ e CMO. Semelhantemente, Scheideler *et al.* (2010) relataram não haver resposta na associação de Se e vitamina E para produção, massa e PO e ingestão de ração. Esses relatos concordam com as médias encontradas neste estudo, onde, também, não houve efeito para nenhuma dessas variáveis mencionadas acima.

## CONCLUSÕES

A suplementação de Se e vitamina E é eficaz para aumentar a concentração desses nutrientes na gema e albúmen dos ovos de codornas japonesas, mas não influenciam na deposição de Se na casca dos ovos. A suplementação de Se e Vitamina E não influenciam no desempenho das codornas, mas influenciam as variáveis de qualidade dos mesmos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARPÁŠOVÁ, H.; PETROVIČ, V.; MELLEN, M.; KAČÁNIOVÁ, M.; ČOBANOVÁ, K.; LENG, L. The effects of supplementing sodium selenite and selenized yeast to the diet for laying hens on the quality and mineral content of eggs. **Journal of Animal and Feed Sciences**, v. 18, n. 1, p. 90-100, 2009.

BERGER, P.; KARPEL VEL LEITNER, N.; DORÉ, M.; LEGUBE, B. Ozone and hydroxyl radicals induced oxidation of glycine. **Water Research**, v. 33, n. 2, p. 433-441, 1999.

BRANT, A. W.; OTTE, A. W.; NORRIS, K. H. Recommend standards for scoring and measuring opened egg quality. **Food Technology**, v. 5, n. 1, p. 356-361, 1951.

CHRISTAKI, E.; BONOS, E.; FLOROU-PANERI, P. Effect of dietary supplementation of olive leaves and/or  $\alpha$ -tocopheryl acetate on performance and egg quality of laying Japanese quail (*Coturnix japonica*). **Asian Journal of Animal and Veterinary Advances**, v. 6, n. 12, p. 1241-1248, 2011.

DEL MAESTRO, R. F. An approach to free radicals in medicine and biology. **Acta Physiol Scand Suppl**, v. 492, p. 153-68, 1980.

FERNANDES, J.; MURAKAMI, A.; SAKAMOTO, M.; SOUZA, L.; MALAGUIDO, A.; MARTINS, E. Effects of organic mineral dietary supplementation on production performance and egg quality of white layers. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, v. 10, p. 59-65, 2008.

GRANGER, D. N.; RUTILI, G.; MCCORD, J. M. Superoxide radicals in feline intestinal ischemia. **Gastroenterology**, v. 81, n. 1, p. 22-29, 1981.

GÜRBÜZ, E.; BALEVI, T.; COŞKUN, B.; ÇITIL, O. B. Effect of adding linseed and selenium to diets of layer hen's on performance, egg fatty acid composition and selenium content. **Yumurtacı{dotless} tavuk rasyonları{dotless}na keten tohumu ve selenyum ilavesinin performans, yumurta yağ asidi kompozisyonu ve selenyum içeriğine etkisi**, v. 18, n. 3, p. 487-496, 2012.

HALLIWELL, B.; GUTTERIDGE, J. M. C. **Free radicals in biology and medicine**. Oxford University Press, 2007.

KATO, A.; SATO, Y. The release of carbohydrate rich compound from ovomucin gel during storage. **Agric. Biol. Chem.**, v. 36, n. 4, p. 831-833, 1972.

KIRUNDA, D. F.; SCHEIDELER, S. E.; MCKEE, S. R. The efficacy of vitamin E (DL-alpha-tocopheryl acetate) supplementation in hen diets to alleviate egg quality deterioration associated with high temperature exposure. **Poult Sci**, v. 80, n. 9, p. 1378-83, 2001.

LEESON, S.; CASTON, L. J. Vitamin Enrichment of Eggs. **The Journal of Applied Poultry Research**, v. 12, n. 1, p. 24-26, 2003.

MELUZZI, A.; SIRRI, F.; MANFREDA, G.; TALLARICO, N.; FRANCHINI, A. Effects of dietary vitamin E on the quality of table eggs enriched with n-3 long-chain fatty acids. **Poult Sci**, v. 79, n. 4, p. 539-45, 2000.

MORI, A. V.; MENDONÇA, C. X.; ALMEIDA, C. R. M.; PITA, M. C. G. Supplementing Hen Diets with Vitamins A and E Affects Egg Yolk Retinol and  $\alpha$ -Tocopherol Levels. **The Journal of Applied Poultry Research**, v. 12, n. 2, p. 106-114, 2003.

NRC. **Nutrient requirements of poultry**. National Academy of Sciences, 1994. 155

OLSZEWER, E. **Radicais livres em medicina**. Fundo Editorial BYK, 1995.

PAN, C.; HUANG, K.; ZHAO, Y.; QIN, S.; CHEN, F.; HU, Q. Effect of selenium source and level in hen's diet on tissue selenium deposition and egg selenium concentrations. **J Agric Food Chem**, v. 55, n. 3, p. 1027-32, 2007.

PAVLOVIĆ, Z.; MILETIĆ, I.; JOKIĆ, Ž.; PAVLOVSKI, Z.; ŠKRBIĆ, Z.; ŠOBAJIĆ, S. The Effect of Level and Source of Dietary Selenium Supplementation on Eggshell Quality. **Biological Trace Element Research**, v. 133, n. 2, p. 197-202, 2010.

PITA, M. C. G.; PIBER NETO, E.; NAKAOKA, L. M.; MENDONÇA JUNIOR, C. X. D. Efeito da adição de ácidos graxos insaturados e de vitamina E à dieta de galinhas e seu reflexo na composição lipídica e incorporação de  $\alpha$ -tocoferol na gema do ovo. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science**, v. 41, p. 25-31, 2004.

SAHIN, N.; SAHIN, K.; ONDERCI, M. Vitamin E and selenium supplementation to alleviate cold-stress-associated deterioration in egg quality and egg yolk mineral concentrations of Japanese quails. **Biol Trace Elem Res**, v. 96, n. 1-3, p. 179-89, 2003.

SANTOS, M. J. B. D. **Sistema de produção de frangos de corte caipira com piquetes enriquecidos e sua influência no bem-estar animal e desempenho zootécnico**. 2009.

87 Dissertação de Mestrado (Mestrado em ambiencia animal). Departamento de engenharia agrícola, UFRPE, Recife.

SAS. **SAS/ACCESS 9.1 interface to PeopleSoft: user's guide**. SAS Pub., 2004.

SAUVEUR, B.; CARBÓ, C. B. **El Huevo para consumo: Bases productivas**. Mundi-Prensa Libros, S.A., 1993.

SCHEIDELER, S. E.; WEBER, P.; MONSALVE, D. Supplemental vitamin E and selenium effects on egg production, egg quality, and egg deposition of  $\alpha$ -tocopherol and selenium. **Journal of Applied Poultry Research**, v. 19, n. 4, p. 354-360, 2010.

SIES, H.; STAHL, W.; SUNDQUIST, A. R. Antioxidant functions of vitamins. Vitamins E and C, beta-carotene, and other carotenoids. **Ann N Y Acad Sci**, v. 669, p. 7-20, 1992.

SILVA, J. H. V. D. TABELAS PARA CODORNAS JAPONESAS E EUROPEIAS. p. 107, 2009.

STEVENS, L. Egg proteins: what are their functions? **Sci Prog**, v. 79 ( Pt 1), p. 65-87, 1996.

SURAI, P. F. Selenium in poultry nutrition 1. Antioxidant properties, deficiency and toxicity. **World's Poultry Science Journal**, v. 58, n. 03, p. 333-347, 2002.

SURAI, P. F.; KARADAS, F.; PAPPAS, A. C.; SPARKS, N. H. Effect of organic selenium in quail diet on its accumulation in tissues and transfer to the progeny. **Br Poult Sci**, v. 47, n. 1, p. 65-72, 2006.

WOLFFRAM, S.; BERGER, B.; GRENACHER, B.; SCHARRER, E. Transport of Selenoamino Acids and their Sulfur Analogues across the Intestinal Brush Border Membrane of Pigs. **The Journal of Nutrition**, v. 119, n. 5, p. 706-712, 1989.

### **Capítulo III.**

**Modelos para estimar níveis de suplementação de selênio e vitamina E em dietas  
para codornas japonesas**

## **Modelos para estimar níveis de suplementação de selênio e vitamina E em dietas para codornas japonesas**

### **RESUMO**

Um experimento foi conduzido para averiguar o desempenho, qualidade dos ovos e modelar a deposição de selênio (Se) e vitamina E nos ovos de codornas japonesas suplementadas com esses nutrientes. Foram alojadas 600 codornas com 45 dias de vida. Foram cinco tratamentos com 10 aves por parcela e cinco repetições. As rações experimentais foram suplementadas com Se em matriz orgânica (Se) e vitamina E acetato de dl- $\alpha$ -tocoferil com os seguintes tratamentos: Ração Referência (RR); RR + 0,1 ppm de Se mais 20 mg/kg de DL- $\alpha$ - tocoferil (Se1), RR + 0,2 ppm de Se + 20 mg/kg de DL- $\alpha$ - tocoferil (Se2), RR + 0,3 ppm de Se mais 20 mg/kg de DL- $\alpha$ - tocoferil (Se3), RR + 0,4 ppm de Se mais 20 mg/kg de DL- $\alpha$ - tocoferil (Se4). Os ovos foram contabilizados e pesados diariamente até o 112º dia e a cada 28 dias três ovos foram coletados com pesos mais próximos à média e analisados quanto à qualidade, no laboratório de nutrição animal. Em seguida, efetuou-se a análise de regressão linear e não-linear, os modelos não lineares estudados foram: Broken line, sigmoidal, Logística e Mitscherlich. O melhor ajuste foi observando o critério de informação Bayseano, log da máxima verossimilhança (-2Logl) e coeficiente de determinação  $R^2$  – ajustado. As variáveis de desempenho não foram afetadas pela adição de Se e vitamina E. Também não foi observado efeito sobre a gravidade específica, cor da gema e percentagem de albúmen. Porém a altura de albúmen, unidade Haugh, espessura de casca e percentagem de casca se ajustaram ao modelo polinomial quadrático com o ponto de inflexão em: 0,18; 0,27; 0,20 e 0,16 ppm de suplementação de Se. Na deposição de Se nos ovos e na casca os modelos que melhor se ajustaram foram o sigmoidal e logístico

com estimativa de 0,29 e 0,33 ppm de Se para máxima deposição. Na deposição de vitamina E o modelo que melhor se ajustou foi o sigmoidal com estimativa de 0,36 ppm de Se. A associação de Se e vitamina E não influenciam nas variáveis produtivas, mas influenciam as variáveis de qualidade dos ovos.

**PALAVRAS CHAVE:** minerais quelatado, modelos matemáticos, tocoferol, postura

## ABSTRACT

An experiment was conducted to investigate the performance, egg quality and modeling the deposition of selenium (Se) and vitamin E in eggs of Japanese quails supplemented with these nutrients. 600 quails were housed at 45 days of life in cages with three floors and dimensions (33cm x 25cm x 20cm). There were five treatments with 10 birds per pen and five replications. The experimental diets were supplemented with Se in the organic matrix (Se) and vitamin E acetate, dl- $\alpha$ -tocopherol with the following treatments: Ration Reference (RR) RR + 0.1 ppm Se plus 0.2 mg / kg DL- $\alpha$ -tocopheryl (Se1) RR + 0.2 ppm Se + 0.2 mg / kg of DL- $\alpha$ -tocopheryl (SE2) RR + 0.3 ppm Se plus 0.2 mg / kg DL- $\alpha$ -tocopheryl (SE3) RR + 0.4 ppm Se most 0.2 mg / kg of DL- $\alpha$ -tocopheryl (SE4). The eggs were counted and weighed daily until the 112th day and every 28 days three eggs were collected with weights closer to the mean and analyzed for quality, laboratory animal nutrition. Then was analyzed the linear regression and non-linear, nonlinear models were studied: Broken line, sigmoidal, Logistics and Mitscherlich. The best fit was watching the criterion Bayseano information, log maximum likelihood (-2Logl) and coefficient of determination (R<sup>2</sup> - adjusted). The performance parameters were not affected by the addition of Se and vitamin E. Also there was no effect on the specific gravity (SG), yolk color (CG) and percentage of albumen (PA). But the albumen height (AA), Haugh unit (HU), shell thickness (JV) and percentage of shell fitted the quadratic polynomial model with inflection point: 0.18, 0.27, 0.20 and 0.16 ppm Se supplementation. In the deposition of selenium in eggs and shell models that best fit was the sigmoidal estimated with logistic and 0.29 and 0.33 ppm Se for maximum deposition. In the deposition of vitamin E model was the best fit with the sigmoidal estimate of 0.36 ppm Se. The association of

Se and vitamin E did not influence the production parameters, but the parameters influencing the quality of the eggs.

**KEYWORDS:** Mathematical models, tocopherol, selenomethionine, chelated minerals

## INTRODUÇÃO

A suplementação de minerais quelatados tem trazido benefícios na produção animal promovendo melhoria nas variáveis produtivas e aumento na deposição destes nos tecidos e células, além do que pode aumentar a disponibilidade desses nutrientes na carne e ovos para o consumo humano. O Se é um mineral essencial para a maioria dos seres vivos sendo constituinte de selenocisteínas, que dentre outras funções participa diretamente no sistema redox das células como a glutathione peroxidase. Esse sistema redox é importante para o combate ao estresse oxidativo que em situações severas pode levar a morte (Halliwell *et al.*, 2007).

O Se na sua forma quelatada tem um maior poder de deposição nos órgãos e tecidos do que o não quelatado, com isso ele é mais eficiente no combate aos radicais livres (Mahmoud *et al.*, 2003), na reprodução das aves (Surai, 2000) e maior atividade imunológica (Finch e Turner, 1996).

Juntamente com o Se, a vitamina E desempenha papel semelhante no combate a peroxidação lipídica, pois sua função é limpar os radicais peroxil da oxidação em cadeia dos ácidos graxos poli-insaturados (PUFAS) (Burton *et al.*, 1990). Assim o  $\alpha$ -tocoferol age como uma cadeia antioxidante, impedindo a maior proliferação de auto-oxidação de ácidos graxos poli-insaturados nas membranas ou lipoproteínas.

Embora existam na literatura muitos trabalhos com suplementação de Se e vitamina E em aves, poucos são os estudos com codornas (*Coturnix japonica*), com isso, as informações em relação ao melhor nível de suplementação, para melhor desempenho produtivo e deposição nos ovos são imprescindíveis.

Além disso, é importante a realização das análises dos dados utilizando algumas ferramentas para prever com acurácia, a interrelação dieta versus resposta biológica. Em experimentos dose-resposta é comum a utilização de modelos lineares para estimar as respostas à adição de um determinado nutriente, porém, há críticas sobre a utilização desses modelos para análise. Uma premissa é que os modelos lineares podem causar superestimativas dos níveis ótimos, uma vez que as respostas se aproximam da “lei dos mínimos retornos” (Oviedo-Rondón *et al.*, 2002; Pack *et al.*, 2003). O modelo linear assume que todos os indivíduos de uma população são iguais e respondem de forma semelhante (Leclercq e Wiseman, 1994). Contudo, a maioria dos fenômenos biológicos se comportam de maneira não-linear, pois a expressão gênica de cada animal é dependente do seu código genético inerente a cada indivíduo. O metabolismo é um fenômeno difícil de compreender porque as reações bioquímicas têm comportamentos geralmente não lineares, podendo ser antagônicas, outras sinérgicas, outras independentes e algumas interagentes (Oviedo-Rondón, 2007).

Com isso, os modelos não-lineares tornam-se importantes ao permitir o entendimento entre as múltiplas variáveis envolvidas nos processos fisiológicos dos animais, à medida que a ingestão de um determinado nutriente modifica ao longo do tempo. Assim, estes modelos também são capazes de descrever com detalhes pequenas variações nas respostas das aves (Sakomura *et al.*, 2007). Observando essas premissas, esse experimento foi conduzido com o objetivo de avaliar o desempenho, qualidade dos ovos e modelar a deposição de Se e vitamina E nos ovos de codornas japonesas suplementadas com esses nutrientes.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi executado no Laboratório de Digestibilidade de Animais não-Ruminantes do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal Rural de Pernambuco. Foram adquiridas 600 codornas fêmeas de um dia de idade adquiridas na granja Fujikura. As aves foram criadas até os 30 dias no piso, dispostas em círculos aquecidos de Eucatex<sup>®</sup> com temperatura média de acordo com a idade. Em seguida as codornas foram alojadas em 25 gaiolas de arame galvanizado, medindo 0,33 m de comprimento x 0,25 m de largura x 0,20 m de altura, dispostas em três andares, montadas em esquema de arquibancadas em sala climatizada. As codornas receberam água e ração à vontade em bebedouros do tipo copinho e comedouros tipo cocho de chapa galvanizada, os animais foram submetidos a 17 horas de luz diária (natural e artificial), assim, permaneceram durante todo o período experimental. Aos 45 dias de vida foram selecionadas 250 codornas com variação de 5% do peso médio e acompanhadas durante 10 dias a sua respectiva produção de ovos para montar o delineamento experimental.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado (DIC) contendo cinco tratamentos e cinco repetições com dez codornas por unidade experimental. Foram formuladas cinco rações experimentais baseadas nas exigências nutricionais para codornas japonesas em postura conforme (Silva e Costa, 2009) (Tabela 1). Em seguida, as rações experimentais foram suplementadas com vitamina E (acetato de DL- $\alpha$ -tocoferil) e Se quelatado em matriz orgânica.

Os tratamentos foram:

Ração Referência (RR); RR + 0,1 ppm de Se mais 20 mg/kg de DL- $\alpha$ - tocoferil (Se1), RR + 0,2 ppm de Se mais 20 mg/kg de DL- $\alpha$ - tocoferil (Se2), RR + 0,3 ppm de Se mais 20 mg/kg de DL- $\alpha$ - tocoferil (Se3), RR + 0,4 ppm de Se mais 20 mg/kg de DL- $\alpha$ - tocoferil (Se4).

Tabela 2. Ração referência para codornas japonesas em postura<sup>1</sup>

Ingredientes	%
Milho	56,04
Farelo de Soja	33,82
Óleo de soja	2,71
DL-Metionina	0,07
Calcário	5,18
Fosfato Bicálcico	1,32
Cloreto de Sódio	0,33
Suplemento Vitamínico e Mineral <sup>1</sup>	0,50
Composição Nutricional	
Energia metabolizável (Kcal/kg)	2900
Proteína Bruta	20,00
Metionina+cistina digestível (%)	0,82
Metionina digestível (%)	0,50
Lisina digestível (%)	1,30
Treonina digestível (%)	0,76
Calcio %	0,80
Fósforo disponível %	0,30
Sódio %	0,15

<sup>1</sup> Quantidade/kg de Produto: vit. A 1600000 UI, vit. D3 400000 UI, vit. E 3000 mg, vit. K3 400 mg, vit. B2 800 mg, vit. B6 200 mg, vit. B12 2000 mcg, niacina 4000 mg, ác. pantotênico 1400 mg, ác. fólico 60 mg, biotina 4 mg, manganês, 14000 mg, zinco 12000 mg, ferro 10000 mg, cobre 1700 mg, iodo 200 mg, selênio 50 mg, cobalto 40 mg, metionina 200000 mg, colina 36450 mg, , antioxidante 30000 mg, veículo q.s.p. 1000 mg.

A produção, temperatura, umidade relativa e os pesos dos ovos foram averiguados diariamente e anotados. A temperatura média dentro da sala foi de 23°C  $\pm$  2° e a umidade relativa 60%  $\pm$  5%. O período experimental foi de 112 dias divididos em quatro ciclos de 28 dias.

Semanalmente foram coletadas as sobras de rações de cada parcela para cálculo do consumo de ração. As variáveis de desempenho avaliadas foram: percentagem de postura, peso dos ovos (PO, g), massa de ovos produzida (MO, g/ave/dia), consumo de ração (CR, g/ave/dia), conversão alimentar por dúzia (CDZ, g;dz) e por massa de ovos (CMO, g/ave/dia). A cada 28 dias foram coletados quatro ovos por parcela experimental e analisados para averiguar a qualidade dos mesmos. As variáveis analisadas consistiam de: cor da gema (CG) (leque DSM/Roche), unidade Haugh (UH) descrito por Brant *et al.* (1951), altura do albúmen (AA, mm), espessura de casca (EC, mm), gravidade específica (GE), peso da gema, da clara e da casca para posterior apresentação dos percentuais em relação ao peso dos ovos (percentagem de gema (PG), albúmen (PA) e casca (PC)).

Para determinação da GE (massa/volume) foram preparadas nove soluções que consistiam de água e cloreto de sódio com densidades que variavam de 1,050 a 1,090, com intervalos de 0,05 a cada solução. As densidades foram aferidas por meio de um densímetro de petróleo, após preparação da solução os ovos eram identificados, pesados e mergulhados nas soluções para que se obtivesse a gravidade dos mesmos.

Aos 84 dias do experimento quatro ovos de cada tratamento foram coletados, acondicionados em recipiente com proteção para os ovos. Logo em seguida foram enviados para análise de Se no albúmen e nas cascas dos ovos e vitamina E na gema e albúmen no laboratório de nutrição da UFMG. Para a determinação da concentração de alfa tocoferol na gema, utilizou-se método da (AOCS, 1996). Posteriormente, as amostras foram injetadas no aparelho de cromatografia líquida de alta eficiência com um *loop* de vinte microlitros, tendo como fase móvel hexano e isopropanol (99,5:0,5) com fluxo de 1,2 ml por minuto.

A determinação do Se foi por espectrometria de fluorescência (HG-AFS), descritos por (Gámiz-Gracia e Luque De Castro, 1999).

A relação entre deposição de Se no ovo e ingestão de Se foi modelado por quatro funções matemáticas, e a partir das inversas dessas funções determinaram-se para a deposição o consumo ideal de Se. As funções foram: Broken line (BL), sigmoidal (SG), Logístico (LG) e Mitscherlich (MM).

O modelo Sigmoidal utilizado foi o descrito por Robbins *et al.* (1979), onde dois parâmetros descrevem duas assíntotas, inferior - deposição mínima (Dpmin) e superior - deposição máxima (Dpmax). A deposição máxima é a soma entre o Dpmin + a diferença entre a mínima e máxima resposta (amplitude); os parâmetros  $\gamma$  e  $\delta$  estão envolvidos no formato da curva e DP é a deposição de Se ou vitamina E:

$$DP = dpmin + \frac{amplitude}{1 + e^{(\gamma + \delta * x)}}$$

Invertendo-se a equação sigmoidal é possível obter a ingestão de Se em função do ganho desejado, conforme a equação:

$$Se = \frac{-\gamma + \ln\left(\frac{dp - dpmin - amplitude}{dp - dpmin}\right)}{\delta}$$

O modelo Logístico utilizado foi descrito por Ware *et al.* (1980), onde duas assíntotas deste modelo descrevem parâmetros biológicos similares ao sigmoidal, deposição máxima (Dpmax) é a máxima resposta assintótica, (Dpmin) a assíntota inferior, O parâmetro  $\gamma$  informa a ingestão mínima de Se para interceptação o eixo das ordenadas ( $y \neq 0$ ) conforme a equação:

$$DP = \frac{dpmin + dpmax \cdot \gamma \cdot \delta^x}{1 + \gamma \cdot \delta^x}$$

Invertendo-se a equação logística obtém-se a ingestão de Se em função da deposição desejada, tem-se a equação:

$$Se = \frac{\ln\left(\frac{dp - dpmax}{\gamma \cdot (dp - dpmin)}\right)}{\ln(\delta)}$$

E o modelo Mitscherlich (MTH) descrito por Mitscherlich (1909), utilizado descreve a função da relação entre deposição de Se ou Vitamina E e ingestão de Se (X) por dois parâmetros: máxima resposta (dpmax) e taxa de deposição ( $\beta$ ) conforme equação:

$$DP = dpmax \cdot (1 - e^{(-\beta \cdot x)})$$

Invertendo a equação (MTH) obtém-se a estimativa de Se para máxima deposição de Se ou Vitamina E, tem-se:

$$Se = - \frac{\ln\left(\frac{dp - dpmax}{dpmax}\right)}{\beta}$$

No caso do Broken line, esse modelo descreve a relação entre deposição e ingestão de Se (X) por três parâmetros: dpmax é a resposta assintótica do modelo, U é inclinação até o ponto de quebra e R é o nível que expressa a máxima deposição. O modelo foi descrito por Robbins *et al.* (2006) sendo o seguinte:

$$DP = dpmax + u.(r - x)$$

Invertendo-se a equação acima é possível obter a ingestão de Se em função da deposição desejada, tem-se:

$$Se = \frac{dpmax+u.r}{u}$$

Os critérios adotados para selecionar os modelos foram: máxima verossimilhança (-2LogL), critério de Informação Bayesiano (BIC) e coeficiente de determinação ajustado (R<sup>2</sup>-Ajust).

Os dados foram submetidos à análise de homocedasticidade e normalidade, em seguida as médias foram submetidos à análise de variância e ao teste de Dunnet a 5% de probabilidade, comparando-se o tratamento RR com os demais. Em seguida, efetuou-se a análise de regressão linear e não-linear pelo procedimento PROC REG do (SAS, 2004) para as variáveis de desempenho e qualidade dos ovos, e as médias oriundas da deposição de Se e vitamina E foram analisadas pelo procedimento PROC NLIMIX do mesmo pacote estatístico com o dpmax como variável aleatória.

## RESULTADOS

A variação dos níveis da suplementação de Se e vitamina E na dieta de codornas japonesas não influenciaram as variáveis de desempenho das aves (Tabela 2).

Tabela 2. Desempenho de codornas suplementadas com selênio e vitamina E

Variáveis	Níveis de suplementação de Se, ppm					CV	SEM	P
	0	0,1	0,2	0,3	0,4			
Postura (%)	90,21	92,23	92,9	93,16	93,09	3,90	3,58	0,178
Peso ovo (g/g)	13,24	13,28	12,58	13,31	13,41	3,53	0,43	0,345
Consumo (g/ave/dia)	24,43	26,53	25,58	23,64	25,73	6,12	1,53	0,094
MO (g/ave/dia)	11,94	12,25	11,69	12,40	12,48	6,61	0,78	0,234
CAMO (g/g ovo)	2,05	2,24	2,22	1,94	2,13	8,71	0,18	0,110
CADZ (g/dz)	325	358	335	311	337	6,04	0,02	0,234

Ração referência 0, Se1 0,1 ppm de selênio + 20 mg/kg de vitamina E, Se2 0,2 ppm de selênio + 20 mg/kg de vitamina E, Se3 0,3 ppm de selênio + 20 mg/kg de vitamina E, Se4 0,4 ppm de selênio + 20 mg/kg de vitamina E MO – massa de ovos, CAMO – conversão alimentar por massa de ovo, CADZ – conversão alimentar por dúzia de ovos.

Não foi observado efeito sobre a GE, CG e PA (Tabela 3). As médias de AA, UH, EC e PC não se ajustaram aos modelos não-lineares. Entretanto, houve efeito linear para AA, observando-se que a derivada da equação define a assíntota inferior em 0,25 ppm de Se. Houve efeito quadrático para a EC, quando se igualou a primeira derivada a zero o ponto de inflexão mostrou-se no nível de suplementação em 0,18 ppm de Se.

A suplementação de Se e vitamina E influenciaram a UH, o modelo ajustado foi o quadrático com estimativa de 0,27 ppm de Se. A estimativa de ingestão de Se para percentagem de gema foi obtida pelo modelo polinomial, onde a determinação da tangente da equação foi no nível de 0,2 ppm de suplementação de selênio.

Ao observar a PC, percebe-se que as médias se comportam de forma curvilínea com efeito quadrático, o coeficiente angular do modelo foi estimado em 0,164 ppm de Se (Figura 1).

Tabela 3. Variáveis da qualidade dos ovos de codornas alimentadas com rações suplementadas com selênio e vitamina E

Variáveis <sup>5</sup>	Níveis de suplementação de Se, ppm					CV	SEM	P
	0	0,1	0,2	0,3	0,4			
GE	1,073	1,076	1,073	1,073	1,075	0,169	0,001	0,065
AA <sup>1</sup> (mm)	5,3a	4,81b	4,93b	4,96b	4,99b	2,37	0,11	0,013
CG	3,46	3,48	3,48	3,83	3,47	10,6	0,323	0,124
EC <sup>2</sup> (mm)	0,229a	0,259b	0,260b	0,230b	0,229b	3,75	0,09	0,017
UH <sup>3</sup>	83,7a	80,13b	81,29b	81,3b	81,13b	1,6	1,29	0,043
PA (%)	55,57	54,79	54,96	55,39	56,31	2,56	1,41	0,342
PG <sup>4</sup> (%)	36,79a	37,04b	37,21b	37,64b	36,66b	3,46	1,28	0,022
PC <sup>5</sup> (%)	7,63a	8,17b	7,83b	6,97b	7,03b	4,37	0,3277	0,032

<sup>1</sup>  $y = 6,2597x^2 - 3,1529x + 5,2473$   $R^2 = 0,78$ ; <sup>2</sup>  $y = -0,6611x^2 + 0,2448x + 0,2341$   $R^2 = 0,73$ ; <sup>3</sup>  $y = 34,17x^2 - 18,61x + 83,28$   $R^2 = 0,84$ ; <sup>4</sup>  $y = -15,583x^2 + 6,5265x + 36,707$   $R^2 = 0,80$ ; <sup>5</sup>  $y = -10,458x^2 + 1,795x + 7,7984$   $R^2 = 0,87$ .

<sup>5</sup>Altura de albúmen (AA), Espessura da casca (EC), unidade Haugh (UH), gravidade específica (GE), cor da gema (CG), percentagem do albúmen (PA), percentagem da gema (PG) e percentagem da casca (PC) Números seguidos de letra diferentes na mesma linha diferem estatisticamente pelo teste de Dunnett à 5% de probabilidade.

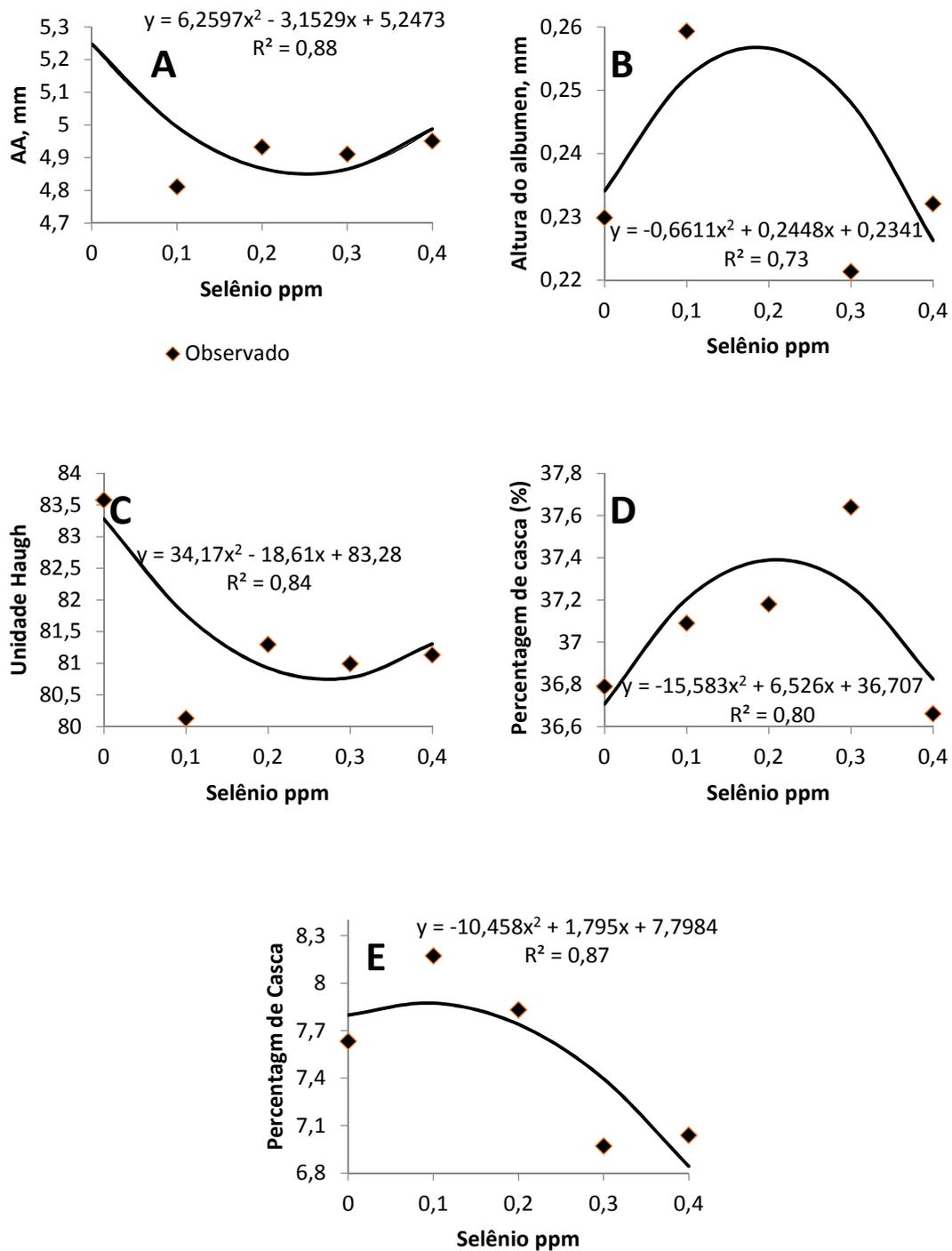


Figura 1. (A) Altura de albúmen (AA), (B) espessura de casca (EC), (C) unidade Haugh, (D) percentagem de gema (PG) e (E) percentagem de casca (PC) de codornas japonesas suplementadas com selênio e vitamina E.

Na Tabela 4, é possível observar as médias de deposição de Se e vitamina E na gema e albúmen, bem como a deposição de Se na casca dos ovos de codornas japonesas.

Tabela 4. Níveis de deposição de Se e vitamina E nos ovos de codornas japonesas suplementadas com Se e vitamina E

Variáveis	Níveis de suplementação de Se, ppm				
	0	0,1	0,2	0,3	0,4
Selênio (ppm)	0,43	0,55	0,65	0,69	0,7
Selênio na Casca (ppm)	0,15	0,147	0,145	0,225	0,275
Vitamina E (mg)	46,91	64,23	66,23	82,81	108,78

A estatística de ajuste permitiu fazer inferências aos modelos avaliados, o critério de informação Bayesiano,  $R^2$ -Ajust e  $-2\text{Logl}$  foram: -46,3; 0,95 e -66,9 para o modelo SG com os menores valores dentre os modelos estudados (Tabela 5). No modelo LG os valores observados foram próximos do modelo SG com valores na ordem de: -45,1; 0,95 e -66,8 para o BIC,  $R^2$ -Ajust e  $-2\text{Logl}$  respectivamente. No modelo MM os valores encontrados para o BIC,  $R^2$ -Ajust e  $-2\text{Logl}$  foram: 4,5; 0,87; -7,3 e -39; 0,92; -65,7 para o BL.

Os valores calculados para o critério de informação Bayesiano,  $R^2$  - ajustado e  $-2\text{Logl}$  para deposição de Vitamina E nos ovos das codornas foram: 107,3; 0,99 e 89,3 para o modelo (SG) com os melhores índices da estatística de ajuste (Tabela 6). Os valores computados para o modelo LG foram: 113,7; 0,99 e 95,7 e no modelo (MM) os valores encontrados foram: 213,5; 0,86 e 195,5 sendo os maiores valores dentre os quatro modelos avaliados, no modelo BL os valores foram: 119,2; 0,97 e 94,2.

Tabela 5. Parâmetros ( $\alpha$ ) ajustados às respostas de deposição de Selênio nos ovos de codornas japonesas e estatísticas do ajuste dos modelos

Modelos	$\alpha$	$\omega$	BIC	$R^2$	$R^2$ ajustado	-2Logl
Sigmoidal	$dpmin$	0,3326	-45,1	0,96	0,95	-66,9
	$amplitude$	0,3722				
	$\gamma$	1,1064				
	$\delta$	-14,433				
Logística	$dpmin$	0,3326	-46,3	0,96	0,95	-66,8
	$dpmax$	0,7047				
	$\gamma$	0,3307				
	$\delta$	1854192				
Mitscherlich	$dpmax$	0,7072	4,5	0,87	0,86	-7,3
	$\beta$	14,5015				
Broken line	$l$	0,7071	-39	0,92	0,92	-65,7
	$u$	-1,125				
	$r$	0,2471				

$\omega$  – coeficientes dos parâmetros; -2LogL; log da máxima verossimilhança, BIC; Critério de Informação Bayesiano;  $R^2$ , Coeficiente de determinação;  $R^2$ Ajust,  $R^2$  ajustado para numero de parâmetros da equação.

Os valores gerados para o BIC,  $R^2$  ajustado e -2Logl do modelo SG foram: -95,9; 0,98 e -113,8 (Tabela 7). No modelo LG os valores foram análogos ao modelo SG, evidenciando similaridade entre esses dois modelos. No modelo MM percebe-se que os valores foram os maiores dentre todos os modelos, com valores da ordem de -36,9; 0,97 e -48,9. Já no modelo BL, os valores originados estiveram próximos do modelo SG e LG sendo: -94,9; 0,98 e -111,9 para o BIC,  $R^2$  ajustado e -2Logl, respectivamente.

Tabela 6. Parâmetros ( $\alpha$ ) ajustados às respostas de deposição de vitamina E nos ovos de codornas japonesas e estatísticas do ajuste dos modelos

Modelos	$\alpha$	$\omega$	BIC	$R^2$	$R^2$ - ajustado	-2Logl
Sigmoidal	<i>dpmin</i>	62,7544	107,3	0,99	0,99	89,3
	<i>amplitude</i>	57,0579				
	$\gamma$	6,7493				
	$\delta$	-20,4465				
Logística	<i>dpmin</i>	62,7544	113,7	0,99	0,99	95,7
	<i>dpmax</i>	119,8				
	$\gamma$	0,00117				
	$\delta$	7,58E-08				
Mitscherlich	<i>dpmax</i>	106,4	213,5	0,87	0,86	195,5
	$\beta$	6,5482				
Broken line	<i>dpmax</i>	64,18	119,2	0,98	0,97	94,2
	<i>u</i>	-259,7				
	<i>r</i>	0,2283				

$\omega$  – coeficientes dos parâmetros; -2LogL; log da máxima verossimilhança, BIC; Critério de Informação Bayesiano;  $R^2$ , Coeficiente de determinação;  $R^2$ Ajust,  $R^2$  ajustado para numero de parâmetros da equação.

Tabela 7. Parâmetros ( $\alpha$ ) ajustados às respostas de deposição de Se na casca dos ovos de codornas japonesas e estatísticas do ajuste dos modelos

Modelos	$\alpha$	$\omega$	BIC	$R^2$	$R^2$ - ajustado	-2Logl
Sigmoidal	<i>dpmin</i>	0,1475	-95,9	0,9864	0,98	-113,8
	<i>amplitude</i>	0,1286				
	$\gamma$	12,5761				
	$\delta$	-43,3088				
Logística	<i>dpmax</i>	0,2761	-95,9	0,9864	0,98	-113,8
	<i>dpmin</i>	0,1475				
	$\gamma$	289541				
	$\delta$	1,55E-19				
Mitscherlich	<i>dpmax</i>	0,3207	-36,9	0,9831	0,97	-48,9
	$\beta$	4,2432				
Broken line	<i>dpmax</i>	0,1475	-90,9	0,99	0,98	-115,9
	<i>u</i>	-0,625				
	<i>r</i>	0,1893				

$\omega$  – coeficientes dos parâmetros; -2LogL; log da máxima verossimilhança, BIC; Critério de Informação Bayesiano;  $R^2$ , Coeficiente de determinação;  $R^2$ Ajust,  $R^2$  ajustado para numero de parâmetros da equação.

Os modelos descreveram com precisão a deposição máxima de Se nos ovos que ficou no intervalo entre 0,7047 e 0,7071 ppm de Se. Na deposição de Vitamina E os modelos SG, LG e MM estabeleceram a *dpmax* de vitamina em: 119, 119 e 106 mg de

vitamina E respectivamente. Contudo, o modelo BL apresentou um valor subestimado quando comparado aos valores observados, estando 46% abaixo dos modelos SG e LG sendo estes condizentes com as médias de deposição. Na Figura 2 é possível constatar que os valores observados e preditos ficaram bem próximos nos modelos SG e LG para a deposição de Se e vitamina E na casca e ovos das aves.

Com os valores de deposição máxima estabelecida pelos parâmetros das equações pelas equações inversas foi possível calcular 99% da resposta assintótica de suplementação de Se de cada modelo. As melhores respostas ajustadas foram identificadas no modelo SG e LG para o Se na gema e albúmen nos ovos preconizando 0,29 ppm de suplementação de Se. O modelo BL e MM estabeleceram baixos valores na ingestão de Se (0,232 e 0,256 ppm de Se), não estando de acordo com as médias observadas (Tabela 8).

Na deposição de Vitamina E para o cálculo das equações inversas foi fixado o valor de 100 mg/kg de vitamina E de deposição nos ovos, assim, o modelo SG e BL caracterizaram uma suplementação de 0,36 ppm de Se para *dpmax* de vitamina. Os modelos LG e MM não foram capazes de designar com fidelidade a ingestão ótima de Se determinando um valor acima do fornecido aos animais. Para resolução das equações invertidas para incorporação de Se na casca, foi fixado a deposição desejada de Se em 0,26 ppm, assim, os valores situaram-se no nível de 0,33 ppm de suplementação de Se na dieta das codornas.

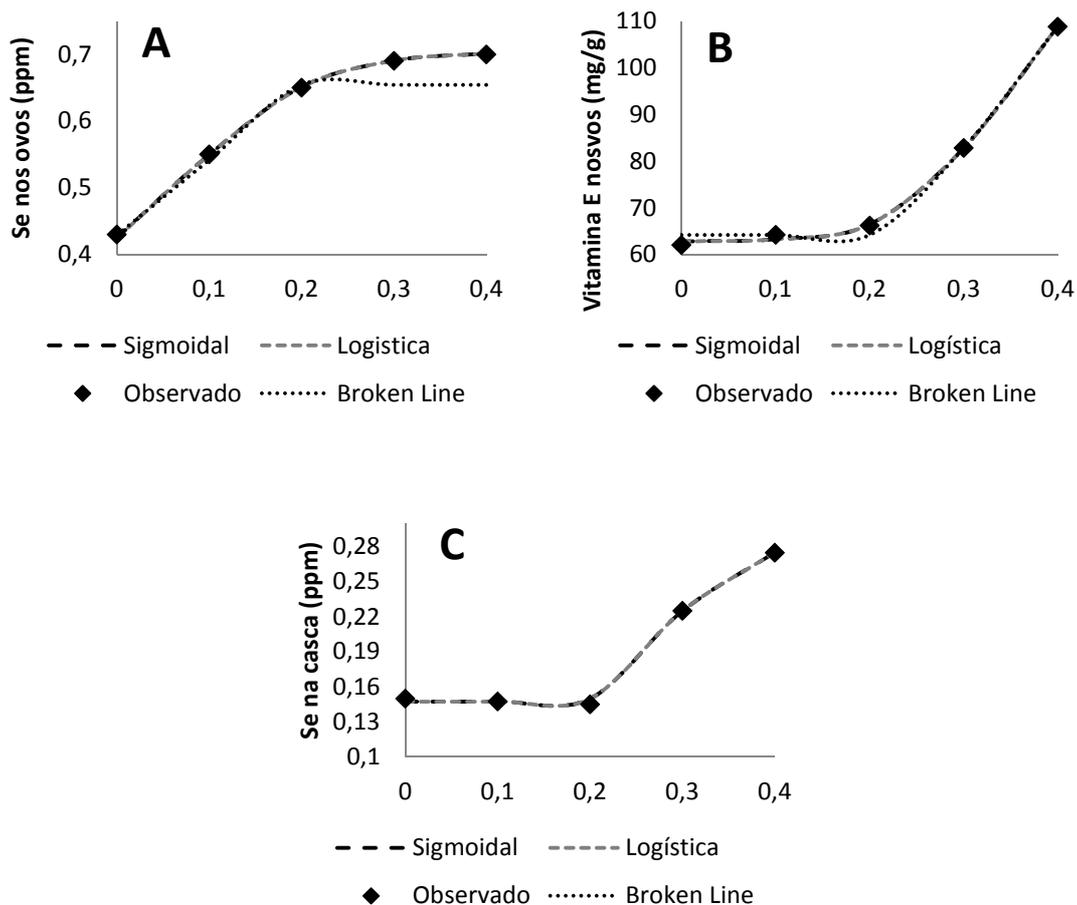


Figura 2. Respostas observadas e previstas para deposição de Se (A), vitamina E (B) nos ovos e Se na casca de ovos (C) de codornas japonesas suplementadas com Se e vitamina E, utilizando para predição os modelos Sigmoidal, Logístico e Broken line.

Tabela 8. Estimativa das exigências de selênio para 99% DPmax

Modelos	Nutrientes		
	Se <sup>1</sup>	Vit. E <sup>2</sup>	Se, casca <sup>3</sup>
Sigmoidal	0,297	0,361	0,335
Logística	0,298	0,450	0,335
Mitscherlich	0,256	0,429	0,392
Broken line	0,232	0,366	0,369

<sup>1</sup> – valor fixado para obter 0,69 ppm de deposição no albúmen e gema dos ovos, <sup>2</sup> - valor fixado para obter 100 mg/g de vitamina E no albúmen e gema dos ovos, <sup>3</sup> - valor fixado para obter 0,26 ppm de Se na casca dos ovos de codornas

## DISCUSSÃO

A resposta das variáveis produtivas parece estar ligada aos níveis de suplementação de Se na dieta das aves e a temperatura ambiente. Alguns autores não encontraram diferença significativa no desempenho quando as aves foram suplementadas com 1 ppm de Se em matriz orgânica submetidas a temperatura de conforto em codornas japonesas (Biswas *et al.*, 2006). Porém, a suplementação de 0,3 ppm mostrou efeito significativo em altas temperaturas (Sahin *et al.*, 2008; Baylan *et al.*, 2011). Já a suplementação de 0,3 ppm em temperatura de conforto não demonstrou resposta significativa em codornas japonesas (Cruz e Fernandez, 2011).

Entretanto, existe resposta efetiva nas variáveis de desempenho quando galinhas de postura estão em desafio imunológico, a exemplo da *Escherichia coli* (Larsen *et al.*, 1997), ou infecções por *Salmonella typhimurium* em frangos de corte (Hegazy e Adachi, 2000). No presente estudo as aves se encontravam em temperatura de conforto  $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}$  e não apresentaram características de desafio imunológico, isto pode ter sido a causa pelo qual os resultados da suplementação de Se não influenciaram nas variáveis de desempenho produtivo. Contudo, os resultados corroboram com Cruz *et al.* (2011) que estudando o efeito de Se no nível de 0,3 ppm de Se em codornas japonesas, quando compararam com o tratamento testemunha não encontraram diferença estatística para produção de ovos, CR, PO, MO, CDZ e CMO. Semelhantemente, Sahin *et al.* (2008) não encontraram diferenças estatísticas para o CR, eficiência alimentar e percentagem de postura quando suplementaram codornas japonesas com 125, 250 e 500 mg/kg de vitamina E associado a dois níveis de Se (0,1 e 0,2 ppm).

O decréscimo da AA, observado com o incremento dos níveis de Se, pode estar relacionado com a alteração do pH ocasionado no albúmen, devido ao maior aporte de vitamina E entre os tratamentos. O conteúdo e a natureza das ovomucinas parecem ser primariamente responsáveis pela determinação da AA, porém, essa redução pode ter várias causas como a proteólise da ovomucina, clivagem das pontes de dissulfetos e interações entre  $\alpha$  e  $\beta$  ovomucinas (Stevens, 1996). Contudo, a diluição do albúmen é relatada com a degradação da ovomucina, ou seja, a alteração do pH dissocia o complexo ovomucina – carboidrato resultando na diluição do albúmen (Kato *et al.*, 1972). Scheideler *et al.* (2010) averiguaram que à medida que os níveis de vitamina E acrescia nas rações, houve um efeito inversamente proporcional entre o pH e vitamina nos ovos de poedeiras leves.

A maior disponibilidade de Se na casca proporcionou uma maior espessura da mesma, porém, esses resultados estão de acordo com os valores encontrados por Sahin *et al.* (2008), que observaram efeito na EC quando forneceram conjuntamente Se e Vitamina E na dieta de codornas japonesas. Distintamente, Attia *et al.* (2010) não encontraram efeito significativo quando forneceram entre 0,1 e 0,4 ppm de Se em dietas para aves reprodutoras pesadas. Pita *et al.* (2004) também não encontraram melhora na qualidade da casca quando adicionaram  $\alpha$  – tocoferol na dieta de galinhas de postura comercial.

Como consequência da maior deposição de Se na casca dos ovos, houve maior percentagem da mesma com o aumento dos níveis deste mineral na dieta das aves. Estes resultados não ratificam com os achados de Attia *et al.* (2010), que não encontraram influencia dos níveis de Se nas rações sobre a percentagem de casca de ovos de aves. A maior percentagem de casca, também, pode está relacionado com a maior deposição de

outros minerais como o Zn, Fe e Mn; Sahin *et al.* (2008) encontraram maior deposição destes minerais na casca com inclusão de 0,2 ppm de Se na dieta de codornas japonesas.

A UH foi descrita em 1937 por Haymond Haugh, ele propôs que a qualidade do ovo varia com o logaritmo da AA, sendo assim, em sua equação ele inseriu um fator de correção para o PO, quanto maior o valor, melhor a qualidade. No presente estudo devido à média de AA se comportar como uma expressão linear negativa ocasionou no declínio da UH à medida que houve incremento dos níveis de Se na dieta. Cruz *et al.* (2011) e Attia *et al.* (2010) não encontraram diferença estatística na UH com a suplementação de Se na dieta de codornas japonesas. Porém, Sahin *et al.* (2008) encontraram aumento da UH na interação entre 0,1; 0,2 ppm de Se e 125, 250 e 500 mg /kg de vitamina E.

Os benefícios do Se é bem caracterizado por combater os radicais livres formados naturalmente em processos bioquímicos, em humanos ele é efetivo no combate a doenças como: câncer (Combs, 2005), diabetes e doenças cardiovasculares (Arnaud *et al.*, 2007). No presente estudo, a suplementação de Se e vitamina E influenciaram a fisiologia das aves tornando-se eficaz o acréscimo da incorporação desses nutrientes nos ovos, desse modo, os ovos de codorna tornam-se um importante condutor desses nutrientes para o consumo humano.

Os modelos matemáticos tem sua importância em prever o efeito do fenômeno estudado, assim é possível realizar um melhor planejamento na escala produtiva e potencializar os resultados. Contudo, devido aos inúmeros modelos na literatura, é objeto de pesquisa selecionar os melhores para cada conjunto de dados numa determinada situação. Um modelo, durante o seu desenvolvimento, deve ser avaliado para ver se seus resultados concordam com os conhecimentos disponíveis, para assim

ser validado, portanto, é importante selecionar modelos baseados em princípios científicos (Campollo Rivas, 1994; Burnham *et al.*, 2004). Com isso, existem várias procedimentos para seleção de modelos tais quais: Regressão stepwise, Critério de informação de Akaike (AIC), critério de informação Generalizado (GIC), critério de informação Bayesiano dentre outros. Contudo, a metodologia escolhida no presente artigo para seleção dos modelos foram;  $-2\text{Log}l$ , log da máxima verossimilhança; BIC, Critério de Informação Bayesiano;  $R^2$ , Coeficiente de determinação e  $R^2\text{-Ajust}$ ,  $R^2$  ajustado para número de parâmetros da equação.

No presente estudo, os valores do  $-2\text{Log}l$ , BIC e  $R^2\text{-ajust}$  geraram com eficiência informações para tomada de decisão do ajuste dos modelos. O modelo sigmoidal e o logístico foram os que melhor se ajustaram na deposição de Se por apresentar os menores valores na estatística de ajuste e na estimativa da ingestão ótima para máxima deposição, no qual houve saturação dos processos fisiológicos das aves estabelecendo a deposição em 0,29 ppm de Se. Resultados equivalentes foram achados por Scheideler *et al.* (2010), onde os autores observaram 36% mais Se na gema dos ovos quando galinhas foram suplementadas com 0,75 mg/kg de Se em detrimento das aves que consumiram 0,55 mg/kg. Porém, os autores não encontraram efeito quando associaram Se e Vitamina E. Surai *et al.* (2006) encontraram maior deposição nos ovos quando adicionaram níveis crescentes de Se em matrizes pesadas.

É preciso, além da identificação dos objetivos que influenciam no resultado, identificar o limite dentro do qual o modelo é válido, isto é, no qual a predição será confiável, o que deve ocorrer dentro da faixa de valores em que as equações foram geradas (Benigni *et al.*, 1994). Na deposição de vitamina E o modelo de melhor ajuste foi o sigmoidal, estabelecendo os menores valores de ajuste dos modelos, o modelo descreveu, também, uma saturação de deposição no nível de 0,36 ppm de Se.

Entretanto, o comportamento da curva resposta evidencia um efeito sinérgico entre o Se e a vitamina E, pois com a suplementação de vitamina E fixada em 0,20 mg/kg para todos os tratamentos, houve acréscimo dessa vitamina simetricamente com os níveis de Se. Ou seja, a presença de Se diminuiu a demanda de vitamina E no metabolismo animal, deixando-o mais disponível para a deposição nos ovos.

Na deposição de Se na casca os melhores modelos foram o sigmoidal e logístico, o nível de suplementação designados por eles foi de 0,33 ppm de Se. Esses resultados estão de acordo com Surai *et al.* (2006), que na inclusão de 0,5 ppm de Se em dietas para codornas, perceberam um aumento da deposição desse mineral na casca dos ovos quando comparados a aves não suplementadas.

## CONCLUSÕES

Os modelos matemáticos estudados convergem de forma satisfatória às médias de deposição de Se e vitamina E. Os modelos que melhor descrevem a deposição de Se nos ovos e na casca são o sigmoidal e o logístico com 0,29 e 0,33 ppm de Se para máxima deposição nos ovos, respectivamente. O melhor modelo para deposição de vitamina E é o sigmoidal com exigência de 0,36 ppm de Se para deposição máxima de vitamina E nos ovos. A associação de Se e vitamina E não influenciam nas variáveis produtivas, mas influenciam as variáveis de qualidade dos ovos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AOCS, C.-. Analysis of tocopherol in eggs by HPLC, method Omega Tech

In: (Ed.). **Method modified from AOCS ce 8-89 and lipid extraction techniques**, 1996. p.300.

ARNAUD, J.; AKBARALY, T. N.; HININGER, I.; ROUSSEL, A. M.; BERR, C. Factors associated with longitudinal plasma selenium decline in the elderly: the EVA study. **J Nutr Biochem**, v. 18, n. 7, p. 482-7, 2007.

ATTIA, Y. A.; ABDALAH, A. A.; ZEWEIL, H. S.; BOVERA, F.; TAG EL-DIN, A. A.; ARAFT, M. A. Effect of inorganic or organic selenium supplementation on productive performance, egg quality and some physiological traits of dual-purpose breeding hens. **Czech J. Anim. Sci.**, v. 1, n. 5, p. 505–519, 2010.

BAYLAN, M.; CANOGULLARI, S.; AYASAN, T.; COPUR, G. Effects of dietary selenium source, storage time, and temperature on the quality of quail eggs. **Biol Trace Elem Res**, v. 143, n. 2, p. 957-64, 2011.

BENIGNI, R.; GIULIANI, A. Quantitative modeling and biology: the multivariate approach. **Am J Physiol**, v. 266, n. 5 Pt 2, p. R1697-704, 1994.

BISWAS, A.; MOHAN, J.; SASTRY, K. V. Effect of higher levels of dietary selenium on production performance and immune responses in growing Japanese quail. **Br Poult Sci**, v. 47, n. 4, p. 511-5, 2006.

BRANT, A. W.; OTTE, A. W.; NORRIS, K. H. Recommend standards for scoring and measuring opened egg quality. **Food Technology**, v. 5, n. 1, p. 356-361, 1951.

BURNHAM, K. P.; ANDERSON, D. R. Multimodel Inference: Understanding AIC and BIC in Model Selection. **Sociological Methods & Research**, v. 33, n. 2, p. 261-304, 2004.

BURTON, G. W.; TRABER, M. G. Vitamin E: antioxidant activity, biokinetics, and bioavailability. **Annu Rev Nutr**, v. 10, p. 357-82, 1990.

CAMPOLLO RIVAS, O. [Mathematical modelling in medicine and biology. Theoretical basis and fundamentals]. **Rev Invest Clin**, v. 46, n. 4, p. 307-21, 1994.

COMBS, G. F., JR. Current evidence and research needs to support a health claim for selenium and cancer prevention. **J Nutr**, v. 135, n. 2, p. 343-7, 2005.

CRUZ, V.; FERNANDEZ, I. Effect of organic selenium and zinc on the performance and egg quality of Japanese quails. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, v. 13, p. 91-95, 2011.

FINCH, J. M.; TURNER, R. J. Effects of selenium and vitamin E on the immune responses of domestic animals. **Res Vet Sci**, v. 60, n. 2, p. 97-106, 1996.

GÁMIZ-GRACIA, L.; LUQUE DE CASTRO, M. D. Determination of selenium in nutritional supplements and shampoos by flow injection-hydride generation-atomic fluorescence spectrometry. **Talanta**, v. 50, n. 4, p. 875-880, 1999.

HALLIWELL, B.; GUTTERIDGE, J. M. C. **Free radicals in biology and medicine**. Oxford University Press, 2007.

HEGAZY, S.; ADACHI, Y. Comparison of the effects of dietary selenium, zinc, and selenium and zinc supplementation on growth and immune response between chick groups that were inoculated with Salmonella and aflatoxin or Salmonella. **Poult Sci**, v. 79, n. 3, p. 331-335, 2000.

KATO, A.; SATO, Y. The release of carbohydrate rich compound from ovomucin gel during storage. **Agric. Biol. Chem.**, v. 36, n. 4, p. 831-833, 1972.

LARSEN, C. T.; PIERSON, F. W.; GROSS, W. B. Effect of dietary selenium on the response of stressed and unstressed chickens to Escherichia coli challenge and antigen. **Biol Trace Elem Res**, v. 58, n. 3, p. 169-76, 1997.

LECLERCQ, B.; WISEMAN, J. **Nutrition and Feeding of Poultry**. Nottingham University Press, 1994.

MAHMOUD, K. Z.; EDENS, F. W. Influence of selenium sources on age-related and mild heat stress-related changes of blood and liver glutathione redox cycle in broiler chickens (*Gallus domesticus*). **Comp Biochem Physiol B Biochem Mol Biol**, v. 136, n. 4, p. 921-34, 2003.

MITSCHERLICH, E. A. Das gesetz des minimums und das gesetz des abnehmenden bodenertrages. **Landw. Jahrbücher**, v. 37, n. 3, p. 537, 1909.

OVIEDO-RONDÓN, E. O. Modelagem por compartimentos para integrar e comunicar conhecimento em nutrição. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, p. 305-313, 2007.

OVIEDO-RONDÓN, E. O.; WALDROUP, P. W. Models to Estimate Amino Acid Requirements for Broiler Chickens: A Review. **International Journal of Poultry Science**, v. 1, n. 5, p. 106 - 113, 2002.

PACK, M.; HOEHLER, D.; LEMME, A. Economic Assessment of Amino Acid Responses in Growing Poultry. In: PUBLISHING, C. (Ed.). **Amino Acids in Animal Nutrition**. Wallingford, Oxon: Cabi, v.2, 2003. cap. 25, p.459-483.

PITA, M. C. G.; PIBER NETO, E.; NAKAOKA, L. M.; MENDONÇA JUNIOR, C. X. D. Efeito da adição de ácidos graxos insaturados e de vitamina E à dieta de galinhas e seu reflexo na composição lipídica e incorporação de  $\alpha$ -tocoferol na gema do ovo. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science**, v. 41, p. 25-31, 2004.

ROBBINS, K. R.; NORTON, H. W.; BAKER, D. H. Estimation of nutrient requirements from growth data. **J Nutr**, v. 109, n. 10, p. 1710-4, 1979.

ROBBINS, K. R.; SAXTON, A. M.; SOUTHERN, L. L. Estimation of nutrient requirements using broken-line regression analysis. **Journal of Animal Science**, v. 84, n. 13 suppl, p. E155-E165, 2006.

SAHIN, N.; ONDERCI, M.; SAHIN, K.; KUCUK, O. Supplementation with organic or inorganic selenium in heat-distressed quail. **Biol Trace Elem Res**, v. 122, n. 3, p. 229-37, 2008.

SAKOMURA, N. K.; ROSTAGNO, H. S.; FUNDAÇÃO DE APOIO A PESQUISA, E. E. E. **Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos**. Funep, 2007. 273

SAS. **SAS/ACCESS 9.1 interface to PeopleSoft: user's guide**. SAS Pub., 2004.

SCHEIDELER, S. E.; WEBER, P.; MONSALVE, D. Supplemental vitamin E and selenium effects on egg production, egg quality, and egg deposition of  $\alpha$ -tocopherol and selenium. **Journal of Applied Poultry Research**, v. 19, n. 4, p. 354-360, 2010.

SILVA, J. H. V. D.; COSTA, F. G. P. **TABELAS PARA CODORNAS JAPONESAS E EUROPEIAS**. Funep, 2009. 107

STEVENS, L. Egg proteins: what are their functions? **Sci Prog**, v. 79 ( Pt 1), p. 65-87, 1996.

SURAI, P. F. Effect of selenium and vitamin E content of the maternal diet on the antioxidant system of the yolk and the developing chick. **Br Poult Sci**, v. 41, n. 2, p. 235-43, 2000.

SURAI, P. F.; KARADAS, F.; PAPPAS, A. C.; SPARKS, N. H. Effect of organic selenium in quail diet on its accumulation in tissues and transfer to the progeny. **Br Poult Sci**, v. 47, n. 1, p. 65-72, 2006.

WARE, G. O.; PHILLIPS, R. D.; PARRISH, R. S.; MOON, L. C. A Comparison of Two Nonlinear Models for Describing Intake-Response Relationships in Higher Organisms. **J Nutr**, v. 110, n. 4, p. 765-770, 1980.

## **Capítulo IV**

### **Meta-análise de desempenho e qualidade dos ovos de galinhas de postura suplementadas com diferentes fontes de Selênio**

## **Meta-análise de desempenho e qualidade dos ovos de galinhas de postura suplementadas com diferentes fontes de Selênio**

### **RESUMO**

Esse estudo foi conduzido com o objetivo de avaliar por meta-análise, a suplementação de selênio quelatado e não-quelatado em rações, utilizando variáveis de desempenho, qualidade dos ovos, deposição de selênio nos ovos e órgãos de galinhas de postura. Os dados foram compostos por oito artigos publicados entre 2004 e 2010. As médias de animais utilizadas nos artigos foram de 230 animais por experimento, sendo de diferentes linhagens genéticas. Os níveis de selênio quelatado e não-quelatado incluídos na análise estavam no intervalo de 0,15 á 0,9 ppm desse mineral na dieta. A meta-análise foi realizada por três análises sequenciais: correlação, gráfica e variância - covariância. O modelo das equações de regressão não-linear foi o Sigmoidal. A deposição de selênio nos ovos e percentagem de postura obtiveram uma correlação positiva com a suplementação desse mineral na forma quelatada e não-quelatada ( $P < 0,01$ ). Contudo, o peso dos ovos mostrou uma correlação negativa para ambas as fontes de Se ( $P < 0,01$ ). A massa de ovos foi correlacionada positivamente para a suplementação de selênio em matriz orgânica e não orgânica ( $P < 0,001$ ). As demais variáveis não se correlacionam com a ingestão de selênio, independente da fonte ingerida ( $P > 0,01$ ). A deposição mínima de selênio encontrada nos ovos das galinhas foi 0,32 e 0,24 ppm desse mineral nos ovos das galinhas que consumiram selênio quelatado e não-quelatado, respectivamente, entretanto, a deposição máxima foi encontrada em 0,72 e 0,61 ppm. A equação inversa demonstrou 0,56 e 0,64 ppm de ingestão de selênio quelatado e não-quelatado para máxima resposta de deposição nos

ovos. A taxa de postura mínima foi de 76% para ambas as fontes de Se e a máxima resposta foi de 92 e 91,4% para selênio quelatado e não-quelatado na dieta das aves que consumiram 0,54 e 0,4 ppm desse mineral. O peso mínimo dos ovos foi de 55,7 e 55,9g para selênio quelatado e não-quelatado, o peso máximo foi de 66,8 e 67g, respectivamente. A resposta mínima para massa de ovos foi de 47,55 e 40,43 g/ave/dia para selênio quelatado e não quelatado, respectivamente, a máxima resposta foi 54,77 e 53,9 g/ave/dia como máxima resposta para selênio quelatado e não quelatado, respectivamente. Quando se aplicou a equação inversa para atingir a máxima resposta, a suplementação de selênio na dieta foi de 0,59 e 0,54 ppm. A ingestão de selênio não-quelatado ou quelatado não influenciaram as variáveis de consumo de ração, unidade Haugh, Se no plasma, fígado, rins e no coração. A suplementação de selênio quelatado e não-quelatado influenciam a deposição nos ovos, a taxa de postura e o peso dos ovos, porém não influenciam a deposição desse nutriente nos órgãos. A forma quelatada de selênio é mais eficaz na deposição dos ovos e apresenta uma maior taxa de postura.

**PALAVRAS CHAVE:** estresse

## ABSTRACT

This study was conducted to evaluate by meta-analysis, supplementation of selenium (Se) chelated and non-chelated, evaluating the deposition in eggs, organs and performance of laying hens supplemented with these nutrients. The data were composed of eight articles published between 2004 and 2010. The averages of animals used were in the articles of 230 animals per experiment, and different genetic lineages. The levels of selenium chelated and non-chelated included in the analysis were within the range of 0.15 to 0.9 ppm in the diet of that mineral. The meta-analysis was performed by three sequential analyzes: correlation, graphical and variance - covariance. The model of the equations nonlinear regression was sigmoidal. The deposition of Se in eggs and laying percentage obtained a positive correlation with the supplementation of this mineral in the form chelated and non-chelated ( $P < 0.01$ ). However, egg weight (EW) showed a negative correlation for both Se sources ( $P < 0.01$ ). The other parameters are not correlated with intakes of selenium intake regardless of the source ( $P > 0.01$ ). The minimum deposition of selenium found in eggs from chickens was 0.32 and 0.24 ppm of this mineral in the eggs of chickens that consumed selenium chelated and non-chelated respectively, however the maximum deposition was found at 0.72 and 0.61 ppm. The inverse equation showed 0.56 and 0.64 ppm selenium intake chelated and non-chelated response for maximum deposition in eggs. The minimum rate stance was 76% for both sources of selenium and the maximum response was 92 and 91.4% for selenium chelated and non-chelated in the diet of birds fed 0.54 and 0.4 ppm selenium. The minimum weight of eggs was 55.7 and 55.9 g for selenium chelated and non-chelated, the maximum weight was 66.8 and 67 g respectively. Intake of selenium chelated or non-chelated did not influence the parameters of feed intake (FI), Haugh

unit (HU), selenium in plasma, liver, kidneys and heart. Selenium supplementation chelated and non-chelated influence the deposition in the egg, the laying rate and egg weight, however not influence the deposition of the nutrient organs. The chelated form of selenium is more effective deposition of eggs and has a greater rate of laying.

**KEYWORDS** - selenomethionine, sodium selenite, supplementation, oxidative stress, eggs

## INTRODUÇÃO

Em virtude das descobertas das propriedades antioxidantes do selênio (Se), prevenindo doenças como a diabetes mellitus, câncer e doenças do coração em humanos (Salonen, J. *et al.*, 1982; Rayman, 2005), pesquisadores da área de nutrição animal tem sido motivados em relação à suplementação desde mineral na dieta animal, objetivando aumentar a sua deposição nos produtos a serem consumidos pelo homem.

Existem duas fontes de selênio: a não-quelataada, encontrada nas rochas e solo, e a quelatada, estando naturalmente nos vegetais e em proteína de origem animal; essas fontes diferem na absorção, sendo a quelatada a mais absorvida nos enterócitos, estando mais disponíveis para os processos metabólicos e maior deposição na carne e ovos das aves (Surai, 2000). Várias moléculas de selenocisteína têm sido encontradas com diferentes funções, por isso a essencialidade do Se vem tomando uma perspectiva muito mais complexa com a identificação de numerosos selenocisteína (Gladyshev *et al.*, 1999). O efeito principal do Se é modular a enzima glutathione-peroxidase que participa do sistema redox das células (Surai, 2002).

A maior concentração de Se para humanos é encontrada nos grãos, nas sementes, carne e alimentos marinhos, para os animais domésticos (suínos e aves) a maior concentração encontra-se no milho e no premix mineral. Contudo, as concentrações desse mineral no solo variam geograficamente sendo o solo brasileiro pobre nesse mineral (Cozzolino, 2007), proporcionando variação na concentração de Se nos ingredientes utilizados na alimentação dos animais. Sendo assim, é necessário a suplementação de Se para suprir as deficiências no animal e enriquecer os ovos e carne para o consumo humano. Em países como Canadá e EUA, o consumo de ovos

enriquecidos é uma realidade e soma-se mais de 5% da produção total com tendência de crescimento (Leeson *et al.*, 2003). Porém, o uso de suplementação de maneira indiscriminada requer alto custo metabólico do organismo animal, que a predispõe a alterações metabólicas.

As informações do efeito da suplementação de Se na dieta de poedeiras comerciais, tem mostrado resultados satisfatórios, contudo, as respostas diferem entre os autores mostrando características pontuais entre eles. Fatores adicionalmente, controlados e não controlados, tais como o plano basal de nutrição, variam de estudo para estudo, exigindo assim, um resumo quantitativo das pesquisas anteriores (Sauvant *et al.*, 2008).

Diante disto, existem várias propostas para sistematizar essas informações, uma delas é a meta-análise proposta inicialmente para dados de medicina e já utilizada em outras áreas da ciência. Essa síntese melhora a potência estatística na pesquisa dos efeitos dos tratamentos, sendo mais precisa na estimação e tamanho do efeito (Lovatto *et al.*, 2007). O procedimento combina estimativas obtidas em diferentes pesquisas, em uma revisão quantitativa e resumidas de resultados de estudos distintos, mas relacionados, com o objetivo de comparar e combinar os resultados de diferentes trabalhos publicados, no intuito de se obter uma conclusão geral sobre o tema em estudo (Glass, 1976).

Observando essas premissas, esse estudo foi conduzido com o objetivo de avaliar por meta-análise, o efeito da suplementação de Se quelatado e não-quelatado em rações sobre o desempenho zootécnico e deposição nos ovos e órgãos de galinhas de postura.

## MATERIAL E MÉTODOS

As informações utilizadas neste artigo referem-se a galinhas de postura suplementadas com Se quelatado e não-quelatado. Considerando esses critérios, os artigos selecionados estavam dentro de uma faixa de seis anos (2004 – 2010) (Tabela 1). Os artigos foram selecionados de acordo com o material e métodos e os resultados de cada artigo, em seguida os dados foram copiados para uma planilha eletrônica. As variáveis analisadas foram: desempenho zootécnico (consumo de ração (CR) e produção de ovos), qualidade dos ovos (peso dos ovos (PO), massa de ovos (MO) e unidade Haugh (UH)) e de deposição de Se nos ovos, no sangue, fígado, rins e coração. Os níveis de Se quelatado e não-quelatado incluídos na análise estavam no intervalo de 0,15 á 0,9 ppm desse mineral na dieta. Após a seleção dos estudos e das subsequentes análises exploratórias, as informações relacionadas com o modelo teórico proposto e outras variáveis foram tabuladas para permitir a análise descritiva dos estudos incluídos no banco de dados.

A metodologia para definição das variáveis dependentes e independentes foi seguindo a proposta de (Lovatto *et al.*, 2007; Sauvant *et al.*, 2008). As características analisadas foram: o design experimental, tratamentos e número de animais em cada estudo.

Tabela 1. Descrição dos artigos utilizados na base de dados.

Autor	Animais	Linhagem
Jiakui <i>et al.</i> (2004)	60	Leghorn
Chinrasri <i>et al.</i> (2009)	144	Rohman
Pan <i>et al.</i> (2007)	700	Rohman
Vukasinovic <i>et al.</i> (2006)	190	Isa Brown
Pavlovic <i>et al.</i> (2009)	100	Shaver 579
Payne <i>et al.</i> (2005)	288	Hi-line w-36
Skrivan <i>et al.</i> (2008)	72	Isa Brown
Scheideler <i>et al.</i> (2010)	288	Leghorn

Uma estatística descritiva dos dados está demonstrada nas Tabelas 2 e 3, com resultados dos valores do mínimo, máximo e média dos experimentos. O número médio de animais utilizados nos artigos foi de 230 animais por tratamento, os animais eram de diferentes linhagens genéticas, sendo as seguintes: Leghorn, Rohman, Isa Brown, Shaver e Hi-line.

Tabela 2. Valores mínimo, máximo, média e desvio padrão da deposição de Se na base de dados dos ovos de galinhas de postura suplementadas com Selênio quelatado

Variáveis	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
Deposição de Se (ppm)	0,21	0,83	0,47	0,20
Postura (%)	70,43	95,48	87,09	7,70
CR (g/ave/d)	95,80	117,00	103,28	7,85
PO (g)	57,72	68,75	61,83	3,71
MO (g/ave/dia)	59,02	45,18	53,46	3,69
UH Haugh	54,40	74,58	60,95	8,10
Selênio no sangue (mmol)	0,18	0,58	0,39	0,16
Selênio no Fígado (mg/g)	0,25	0,72	0,51	0,19
Selênio nos Rins (mmol)	0,35	0,78	0,62	0,17
Selênio no Coração (mmol)	-	-	-	-

CR= consumo de Ração, PO = peso dos ovos, MO = massa de ovos, UH = unidade

Haugh

A meta-análise seguiu três sequenciais de análises. A análise gráfica de dispersão foi utilizada para observar coerência biológica dos dados, os dados discrepantes e possíveis tendências.

A análise de correlação de Pearson entre as diversas variáveis foi usada para identificar os fatores relacionados na base, e a análise de variância e covariância foi usado para comparar os grupos e obter as equações de predição.

Os fatores com maiores coeficientes de correlações e as codificações de modo geral, inter ou intraefeito foram utilizados nas análises dos modelos de variância-covariância (Lovatto *et al.*, 2007). O modelo das equações de regressão não-linear foi o Sigmoidal, descrito por Robbins *et al.* (1979), onde dois parâmetros descrevem duas assíntotas, inferior - resposta mínima (*respmin*) e superior - resposta máxima (*respmax*). A deposição máxima é a soma entre o *respmin* + a diferença entre a mínima e máxima resposta (amplitude); os parâmetros  $\gamma$  e  $\delta$  estão envolvidos no formato da curva e  $y$  é a resposta desejada:

$$Y = \textit{respmin} + \frac{\textit{amplitude}}{1 + e^{(\gamma + \delta \cdot x)}}$$

Invertendo-se a equação sigmoidal é possível obter a ingestão de Se em função da variável desejada, conforme a equação:

$$\textit{Se} = \frac{-\gamma + \ln\left(\frac{y - \textit{respmin} - \textit{amplitude}}{y - \textit{respmin}}\right)}{\delta}$$

Os modelos ajustados para as variáveis de desempenho e deposição de Se-quelato e não quelato foram submetidos à análise de identidade de modelo e

igualdade de parâmetros pelo teste da razão de verossimilhança utilizando-se a estatística qui-quadrado  $\chi^2$ , conforme a metodologia descrita por Regazzi (2003).

Tabela 3. Mínimo, máximo, média e desvio padrão da deposição de Se na base de dados dos ovos de galinhas de postura suplementadas com Selênio não-quelatado

Variáveis	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
Deposição de Se (ppm)	0,21	0,64	0,37	0,16
Postura (%)	73,08	94,69	86,87	7,27
CR (g/ave/d)	93,05	117,00	102,25	9,19
PO (g)	56,15	67,06	61,96	3,93
MO (g/ave/dia)	47,42	58,89	53,75	2,93
UH	56,76	78,17	64,43	8,34
Selênio no sangue (mmol)	0,22	0,44	0,32	0,10
Selênio no Fígado (mg/g)	0,32	2,92	1,34	0,91
Selênio nos Rins (mmol)	0,50	0,86	0,74	0,17
Selênio no Coração (mmol)	1,39	1,99	1,66	0,26

CR= consumo de Ração, PO = peso dos ovos, MO = massa de ovos, UH = unidade

Haugh

A análise de regressão foi utilizando o procedimento PROC NLIN do pacote estatístico (SAS, 2009). A medida de dispersão utilizada para avaliar os resultados foi o desvio padrão residual.

## RESULTADOS

A deposição de Se nos ovos obteve uma correlação positiva com a suplementação desse mineral na forma quelatada (0,7686;  $p < 0,001$ ) (Tabela 4). A percentagem de postura, também, mostrou uma correlação positiva quando as aves foram alimentadas com Se-quelatado (0,89;  $p < 0,01$ ). Contudo, o PO mostrou uma correlação negativa (-0,6984;  $p < 0,01$ ) com a suplementação de Se quelatado na dieta

das aves. Houve uma correlação positiva para MO (0,9225;  $p < 0,0001$ ) quando as aves consumiram a dieta suplementada com Se em matriz orgânica.

Tabela 4. Correlações entre Selênio quelatado e não quelatado de galinhas comerciais suplementadas com esse mineral

Variáveis	Selenio quelatado	P	Selenio não - quelatado	P
Deposição de Se (ppm)	0,7686	0,0001	0,591	0,0061
Postura (%)	0,8893	0,0001	0,581	0,0293
CR (g/ave/d)	-0,46	0,3546	-0,503	0,1676
PO (g)	-0,6984	0,0168	-0,657	0,0204
MO (g/ave/dia)	0,9225	0,0001	0,8508	0,009
UH	-0,4725	0,4215	-0,391	0,6087
Selênio no sangue (mmol)	0,6769	0,2094	0,685	0,5198
Selênio no Fígado (mg/g)	0,1289	0,8363	0,346	0,4473
Selênio nos Rins (mmol)	0,1109	0,859	0,279	0,7211
Selênio no Coração (mmol)	-	-	0,587	0,4129

CR= consumo de Ração, PO = peso dos ovos, MO = massa de ovos, UH = unidade Haugh

P = probabilidade

Semelhantemente a deposição de Se nos ovos das aves que consumiram Se não-quelatado obtiveram uma correlação positiva (0,5906;  $p < 0,01$ ) juntamente com a percentagem de postura (0,5811;  $p < 0,01$ ). O PO correlacionou-se negativamente quando as aves foram suplementadas com Se não-quelatado (-0,6565;  $p < 0,01$ ). A MO teve correlação positiva quando as aves consumiram uma dieta com Se não-quelatado (0,8508;  $p < 0,009$ ). As demais variáveis não se correlacionam com a ingestão de Se independente da fonte ingerida.

Os valores de deposição, postura e peso dos ovos convergiram ao modelo sigmoidal para as aves que consumiram Se quelatado, o coeficiente de determinação

para todas as funções, ficou entre 0,86 e 0,99 demonstrando um bom ajuste das equações (Tabela 5).

A deposição mínima de selênio encontrada nos ovos das galinhas foi 0,32 ppm desse mineral nos ovos, entretanto, a deposição máxima encontrada foi com suplementação estimada em 0,72 ppm de Se. Contudo, quando utilizamos a equação inversa e aplicamos 99% da resposta máxima, encontra-se que 0,56 ppm de suplementação de Se tem-se a máxima resposta de deposição nos ovos.

O ajuste da equação demonstrou que a taxa de postura mínima foi de 76% e a máxima resposta foi acrescentada em 15,6 pontos percentuais (92% de postura). Quando aplicamos a função inversa o consumo de Se para a máxima taxa de postura foi de 0,54 ppm de Se na dieta das aves.

O PO foi influenciado pela suplementação de Se quelatado, e a equação sigmoidal demonstrou que o peso mínimo dos ovos foi de 55,7 g, contudo, o peso dos ovos variaram 11,08 g com a ingestão de Se com o peso máximo de 66,8 g. Para essa máxima resposta a função inversa estimou em 0,13 ppm de Se na ração das aves. A mínima resposta para massa de ovos foi de 47,55 g/ave/dia, a variação entre a mínima e máxima resposta foi de 7,22 g assinalando 54,77 g/ave/dia como máxima resposta. Quando se aplicou a equação inversa para atingir a máxima resposta, a suplementação de Se na dieta foi de 0,59 ppm. A ingestão de Se não-quelatado não influenciaram as variáveis de ingestão de ração, UH, selênio no sangue, fígado, rins e coração.

Tabela 5. Parâmetros ( $\alpha$ ) ajustados por meta análise às respostas de deposição de selênio, postura e peso dos ovos de galinhas de postura comercial suplementadas com selênio em matriz orgânica

Modelos	$\alpha$	$\omega$	Respmax	r2
Deposição	<i>respmin</i>	0,3255	0,56	0,94
	<i>amplitude</i>	0,3943		
	$\gamma$	50,6243		
	$\delta$	-94,8663		
Postura	<i>respmin</i>	76,4342	0,54	0,86
	<i>amplitude</i>	15,5934		
	$\gamma$	7,0398		
	$\delta$	-18,1816		
Peso	<i>respmin</i>	55,7462	0,13	0,99
	<i>amplitude</i>	11,0831		
	$\gamma$	-3,5696		
	$\delta$	6,359		
Massa de ovos	<i>respmin</i>	47,5752	0,59	0,98
	<i>amplitude</i>	7,2232		
	$\gamma$	3,3488		
	$\delta$	-9,9332		

$\omega$  – coeficientes dos parâmetros; R<sup>2</sup>, Coeficiente de determinação; *dpmin* – deposição mínima; *postmin* – menor taxa de postura; *psmin* – peso mínimo dos ovos.

Os valores de deposição, postura e PO convergiram ao modelo sigmoidal quando as aves consumiram Se não-quelatado, o coeficiente de determinação para todas as funções ficou entre 0,87 e 0,98 demonstrando um bom ajuste das equações (Tabela 6).

A taxa de deposição mínima para deposição de Se nos ovos, quando as aves ingeriram selênio em matriz não-orgânica foi de 0,24 ppm de Se, contudo a deposição máxima encontra-se em 0,61 ppm. Quando a função inversa foi aplicada à equação sigmoidal, a estimativa para alcançar a deposição máxima foi de 0,64 ppm de Se. Para postura, a taxa mínima foi de 76,5%, com variação de 14,7 pontos percentuais, a taxa máxima de deposição foi de 91,24%, para alcançar este valor, a equação inversa indica que as aves consumiram 0,4 ppm de Se (Tabela 7).

Tabela 6. Parâmetros ( $\alpha$ ) ajustados por meta análise as respostas de deposição de selênio, postura e peso dos ovos de galinhas de postura comercial suplementadas com selênio em matriz não orgânica

Modelos	$\alpha$	$\omega$	Respmax	r2
Deposição	<i>respmin</i>	0,2435	0,64	0,87
	<i>amplitude</i>	0,372		
	$\gamma$	11,9662		
	$\delta$	-21,4184		
Postura	<i>respmin</i>	76,5267	0,40	0,93
	<i>amplitude</i>	14,7244		
	$\gamma$	81,1833		
	$\delta$	-209,8		
Peso	<i>respmin</i>	55,9401	0,13	0,98
	<i>amplitude</i>	11,0831		
	$\gamma$	-3,5696		
	$\delta$	6,3587		
Massa de ovos	<i>respmin</i>	40,4331	0,54	0,99
	<i>amplitude</i>	13,4746		
	$\gamma$	27,0865		
	$\delta$	-56,3192		

$\omega$  – coeficientes dos parâmetros; R<sup>2</sup>, Coeficiente de determinação; dpmin – deposição mínima; postmin – menor taxa de postura; psmin – peso mínimo dos ovos.

A equação ajustada para o PO demonstrou que houve uma relação inversamente proporcional entre a ingestão de Se e PO, o peso máximo dos ovos foi de 67 g, contudo a amplitude entre os pesos foi de 11 g (Figura 1). Para a máxima resposta do PO a função inversa estimou a ingestão em 0,13 ppm de Se na dieta das aves. A menor MO ajustada na equação foi de 40,43 g/ave/dia, contudo, a máxima massa de ovos foi de 53,9 g/ave/dia, com a suplementação de 0,54 ppm de Se para alcançar esses valores. A ingestão de Se não-quelatado não influenciou as variáveis de ingestão de ração, UH, selênio no sangue, fígado, rins e coração.

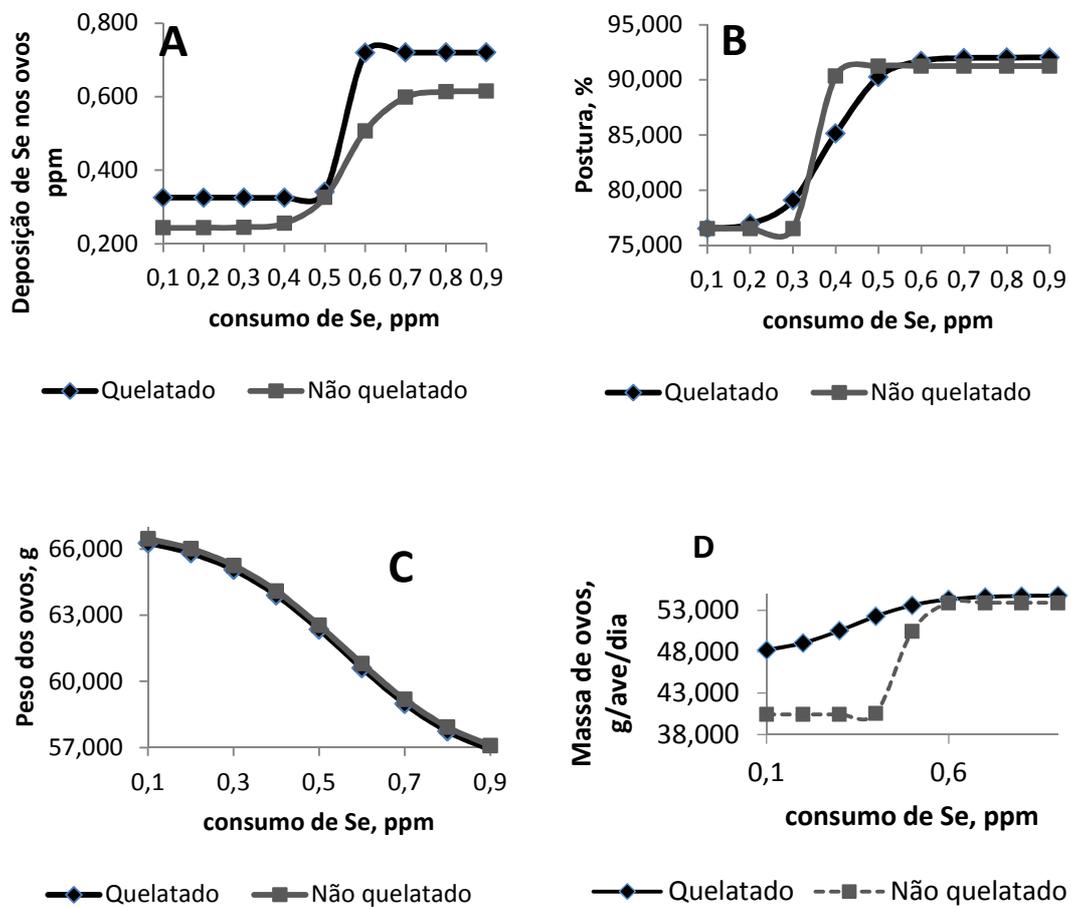


Figura 1. Deposição (A), percentagem de postura (B), peso dos ovos (C), massa de ovos (D) em aves suplementadas com Se – quelatado e SeNa obtido por meta análise

A análise de identidades atestou diferenças para o modelo ajustados para o Se quelatado e não quelatado, ou seja, descrevem respostas assintóticas diferentes ( $P < 0,001$ ).

Tabela 7. Deposição de Se nos ovos, produção e peso dos ovos obtido por meta análise em galinhas de postura alimentadas com Se – quelatado e Selenito de Sódio

Níveis	Se nos ovos (ppm)		% Postura		Peso dos ovos (g/g)		Massa de ovos g/ave/dia	
	SeMet	SeNa	SeMet	SeNa	SeMet	SeNa	SeMet	SeNa
0,1	0,326	0,244	76,52	76,53	66,27	66,46	48,20	40,43
0,2	0,326	0,244	76,94	76,53	65,82	66,01	49,05	40,43
0,3	0,326	0,245	79,09	76,53	65,06	65,26	50,53	40,43
0,4	0,326	0,256	85,13	90,36	63,90	64,10	52,28	40,57
0,5	0,341	0,326	90,25	91,25	62,36	62,55	53,60	50,47
0,6	0,719	0,507	91,71	91,25	60,61	60,80	54,30	53,89
0,7	0,720	0,598	91,97	91,25	58,99	59,19	54,61	53,91
0,8	0,720	0,613	92,02	91,25	57,74	57,93	54,73	53,91
0,9	0,720	0,615	92,03	91,25	56,90	57,09	54,77	53,91

SQ = selênio quelatado, SQN = selênio não – quelatado.

## DISCUSSÃO

A disponibilidade de Se para o enriquecimento nos alimentos é dependente de alguns fatores (Combs e Combs, 1986). No entanto, a capacidade de absorção do intestino, o estado fisiológico da ave, enfermidade, idade e interações com demais nutrientes são fatores que contribuem com essa disponibilidade (Wolffram, 1999). A suplementação de Se quelatado na dieta das aves, mostrou que é eficaz para enriquecer os ovos com Se independente da fonte utilizada. Contudo, é possível observar que a deposição máxima nas aves que consumiram o Se quelatado foi maior que as que consumiram o Se não-quelatado (0,72 x 0,61 ppm). É possível observar que as aves suplementadas com Se quelatado conseguiram disponibilizar uma maior deposição desse nutriente nos ovos consumindo menos Se em relação ao não-quelatado. Comparado com Se quelatado, o selenito é mais facilmente reduzido o que pode formar

compostos insolúveis com outros metais (Jiakui *et al.*, 2004), assim, o torna menos disponível para deposição nos ovos.

A produção de ovos diminui com a idade, contudo, a suplementação de Se influenciou positivamente na postura das galinhas. No presente estudo, o comportamento da percentagem de postura foi influenciado pelo consumo de Se independente da fonte utilizada. Porém, as aves que consumiram o Se quelatado obtiveram uma maior taxa de postura quando comparada com as aves que consumiram Se não-quelatado. Contudo, o consumo de 0,54 ppm de Se quelatado na dieta das aves, demonstrou que este nível é o limite máximo para que as aves estabilizem a produção, e a partir desse nível as aves não apresentam mais resposta significativa para essa variável. Porém, as aves do grupo não-quelatado não demonstraram resposta acima de 0,4 ppm de suplementação, ou seja, parece haver uma toxicidade a partir desse nível. Essa variável beneficia diretamente a produtividade das empresas por permitir maior lucratividade por ave alojada, principalmente em instalações onde há predominância de temperatura média fora do conforto das aves, que pode ocasionar estresse calórico e oxidativo. No entanto, é uma prática comum entre os nutricionistas incrementar os lipídeos na matriz das rações para amenizar o incremento calórico (Berger *et al.*, 1999). Com isso, a peroxidação lipídica principalmente dos ácidos graxos poli-insaturados (PUFAs) pode ampliar o estresse oxidativo, deixando as aves mais susceptíveis a esse efeito.

A equação para o peso dos ovos mostra que à medida que os níveis de Se aumentam na dieta há um declínio no peso dos mesmos, ambas as fontes de selênio apresentam uma equivalência relativa na perda de peso. Contudo, observa-se um acréscimo da massa de ovos diretamente proporcional à suplementação de Se, porém, a

partir de (0,59 e 0,54 ppm) de Se-quelutado e não quelutado, respectivamente, há uma estabilização da resposta para essa variável.

A não influência da ingestão de Se na deposição deste no coração, plasma, rins e fígado pode estar ligado ao fato que Se quelutado é armazenada principalmente no músculo, e a fonte não-quelutada não pode ser armazenado de forma eficaz no organismo animal. As reservas de Se aumentam com a idade e se comporta de forma linear e pode ser 77% maior em Se quelutado do que em Se não-quelutado (Zelenka *et al.*, 2005; Yoon *et al.*, 2007). Ainda assim, existem várias formas de Se como o selenocisteína, selenometionina, metilselenocisteína e eles diferem entre si no metabolismo animal (Combs *et al.*, 1986).

A resposta significativa no teste de identidade, rejeitando a hipótese de nulidade, certifica que não é possível uma única equação ajustada para estimar as variáveis de ambas as fontes de Se. Sendo assim, as fontes de Se são estatisticamente diferentes entre si, denotando diferentes potenciais de eficiência metabólica nas aves. Desta forma, é possível observar que para todas as variáveis, a suplementação de Se em matriz orgânica foi mais eficaz para expressar o máximo desempenho produtivo e deposição desses nos ovos.

## CONCLUSÕES

A suplementação de selênio quelutado e não quelutado influenciam a deposição nos ovos, a taxa de postura, peso e massa dos ovos, porém não influenciam a deposição

desse nutriente nos órgãos. A forma quelatada de selênio é mais eficaz na deposição nos ovos e apresenta maior taxa de postura, peso e massa dos ovos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERGER, P.; KARPEL VEL LEITNER, N.; DORÉ, M.; LEGUBE, B. Ozone and hydroxyl radicals induced oxidation of glycine. **Water Research**, v. 33, n. 2, p. 433-441, 1999.

CHINRASRI, O.; CHANTIRATIKUL, P.; THOSAIKHAM, W.; ATIWETIN, P.; CHUMPAWADEE, S.; SAENTHAWESUK, S.; CHANTIRATIKUL, A. Effect of selenium-enriched bean sprout and other selenium sources on productivity and selenium concentration in eggs of laying hens. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 22, n. 12, p. 1661-1666, 2009.

COMBS, G. F.; COMBS, S. B. **The role of selenium in nutrition**. Academic Press, 1986. 532

COZZOLINO, S. M. F. Deficiências de minerais. **Estudos Avançados**, v. 60, n. 21, p. 119-26, 2007.

GLADYSHEV, V. N.; HATFIELD, D. L. Selenocysteine-containing proteins in mammals. **J Biomed Sci**, v. 6, n. 3, p. 151-60, 1999.

GLASS, G. V. Primary, Secondary, and Meta-Analysis of Research. **Educational Researcher**, v. 5, n. 10, p. 3-8, 1976.

JIAKUI, L.; XIAOLONG, W. Effect of dietary organic versus inorganic selenium in laying hens on the productivity, selenium distribution in egg and selenium content in blood, liver and kidney. **J Trace Elem Med Biol**, v. 18, n. 1, p. 65-8, 2004.

LEESON, S.; CASTON, L. J. Vitamin Enrichment of Eggs. **The Journal of Applied Poultry Research**, v. 12, n. 1, p. 24-26, 2003.

LOVATTO, P. A.; LEHNEN, C. R.; ANDRETTA, I.; CARVALHO, A. D.; HAUSCHILD, L. Meta-análise em pesquisas científicas: enfoque em metodologias. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, p. 285-294, 2007.

PAN, C.; HUANG, K.; ZHAO, Y.; QIN, S.; CHEN, F.; HU, Q. Effect of selenium source and level in hen's diet on tissue selenium deposition and egg selenium concentrations. **J Agric Food Chem**, v. 55, n. 3, p. 1027-32, 2007.

PAVLOVIC, Z.; MILETIC, I.; JOKIC, Z.; SOBAJIC, S. The effect of dietary selenium source and level on hen production and egg selenium concentration. **Biol Trace Elem Res**, v. 131, n. 3, p. 263-70, 2009.

PAYNE, R. L.; LAVERGNE, T. K.; SOUTHERN, L. L. Effect of inorganic versus organic selenium on hen production and egg selenium concentration. **Poult Sci**, v. 84, n. 2, p. 232-237, 2005.

RAYMAN, M. P. Selenium in cancer prevention: a review of the evidence and mechanism of action. **Proc Nutr Soc**, v. 64, n. 4, p. 527-42, 2005.

REGAZZI, A. J. Teste para verificar a igualdade de parâmetros e a identidade de modelos de regressão não-linear. I. Dados no delineamento inteiramente casualizado. **Revista Ceres**, v. 50, n. 287, p. 9-26, 2003.

ROBBINS, K. R.; NORTON, H. W.; BAKER, D. H. Estimation of nutrient requirements from growth data. **J Nutr**, v. 109, n. 10, p. 1710-4, 1979.

SALONEN, J.; ALFTHAN, G.; HUTTUNEN, J.; PIKKARAINEN, J.; PUSKA, P. ASSOCIATION BETWEEN CARDIOVASCULAR DEATH AND MYOCARDIAL INFARCTION AND SERUM SELENIUM IN A MATCHED-PAIR LONGITUDINAL STUDY. **The Lancet**, v. 320, n. 8291, p. 175-179, 1982.

SAS. **SAS/ACCESS 9.1 interface to PeopleSoft: user's guide**. SAS Pub., 2009.

SAUVANT, D.; SCHMIDELY, P.; DAUDIN, J. J.; ST-PIERRE, N. R. Meta-analyses of experimental data in animal nutrition. **Animal**, v. 2, n. 8, p. 1203-14, 2008.

SCHEIDELER, S. E.; WEBER, P.; MONSALVE, D. Supplemental vitamin E and selenium effects on egg production, egg quality, and egg deposition of  $\alpha$ -tocopherol and selenium. **Journal of Applied Poultry Research**, v. 19, n. 4, p. 354-360, 2010.

SKRIVAN, M.; MAROUNEK, M.; DLOUHA, G.; SEVCIKOVA, S. Dietary selenium increases vitamin E contents of egg yolk and chicken meat. **Br Poult Sci**, v. 49, n. 4, p. 482-6, 2008.

SURAI, P. F. Organic selenium and the egg: lessons from nature. In: SPRINGER (Ed.). **Bioactive Egg Compounds**. London, v.20, 2000. p.183 - 190.

SURAI, P. F. Selenium in poultry nutrition 1. Antioxidant properties, deficiency and toxicity. **World's Poultry Science Journal**, v. 58, n. 03, p. 333-347, 2002.

VUKASINOVIC, M.; MIHAILOVIC, R.; SEKLER, M.; KALJEVIC, V.; KURCUBIC, V. The impact of the selenium content of laying hen feeds. **Archiv fur Geflugelkunde**, v. 70, n. 2, p. 91-96, 2006.

WOLFFRAM, S. Absorption and metabolism of selenium: difference between inorganic and organic sources. In: PRESS, N. U. (Ed.). **Biotechnology in the Feed Industry**. Nottingham: Nottingham University Press, 1999. p.547-566.

YOON, I.; WERNER, T. M.; BUTLER, J. M. Effect of source and concentration of selenium on growth performance and selenium retention in broiler chickens. **Poult Sci**, v. 86, n. 4, p. 727-30, 2007.

ZELENKA, J.; FAJMONOVA, E. Effect of age on utilization of selenium by chickens. **Poult Sci**, v. 84, n. 4, p. 543-6, 2005.

## **Capítulo V**

### **Implicações**

## Implicações

Mesmo considerando que a suplementação de selênio em matriz orgânica e a vitamina E no nível de 0,2 ppm e 20 mg/kg, respectivamente, não altera o desempenho zootécnico das codornas, os mesmos melhoram a qualidade da casca e a deposição desses nutrientes nos ovos. Contudo, acima de 0,2 ppm de Se há um incremento na percentagem de gema e casca. Porém, a suplementação de Se em ovos de galinhas de postura garante uma melhora no desempenho zootécnico bem como na deposição desse mineral nos ovos. O aumento da taxa de postura e da massa de ovos nas galinhas é uma característica importante do ponto de vista econômico, assim, essas características justificam a adoção dessa tecnologia nas granjas.

O modelo sigmoideal se ajustou de forma satisfatória a deposição de selênio e vitamina E nos ovos e casca. O modelo foi capaz de explicar biologicamente esses fenômenos permitindo uma medida acurada da deposição mínima, máxima e ótima. O ajuste dos modelos matemáticos para deposição, permite fazer uso da equação inversa para manipular a deposição de vitamina E e Se nos ovos de acordo com o interesse do nutricionista. Assim, é possível agregar valor aos ovos, principalmente para pequenos produtores que necessitam de novas tecnologias para manter-se no mercado. No entanto, o fornecimento de Se em matriz quelatada assegura um melhor resultado quando comparado à fonte não quelatada. Entretanto, em regiões onde há deficiência desses nutrientes na dieta da população, a suplementação desses nutrientes torna-se uma solução para minimizar a deficiência desses nutrientes via consumo desses ovos.