



**EBERSON SILVA**

**PREDIÇÃO DA ÁREA SUPERFICIAL E  
VOLUME DE OVOS DE GALINHAS  
POEDEIRAS**

**LAVRAS - MG**

**2014**

**EBERSON SILVA**

**PREDIÇÃO DA ÁREA SUPERFICIAL E VOLUME DE OVOS DE  
GALINHAS POEDEIRAS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Engenharia Agrícola, para a obtenção do título de Doutor.

Orientador

Dr. Tadayuki Yanagi Junior

Coorientadores

Dr. Alessandro Torres Campos

Dr. Sérgio Martins de Souza

**LAVRAS - MG**

**2014**

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Coordenadoria de Produtos e  
Serviços da Biblioteca Universitária da UFLA**

Silva, Éberson.

Predição da área superficial e volume de ovos de galinhas  
poedeiras / Éberson Silva. – Lavras : UFLA, 2014.

61 p. : il.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2014.

Orientador: Tadayuki Yanagi Junior.

Bibliografia.

1. Modelos matemáticos. 2. Área superficial. 3. Volume. I.  
Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 519.2

**EBERSON SILVA**

**PREDIÇÃO DA ÁREA SUPERFICIAL E VOLUME DE OVOS DE  
GALINHAS POEDEIRAS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Engenharia Agrícola, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 25 de Julho de 2014.

Dr. Alessandro Torres Campos	UFLA
Dr. Sérgio Martins de Souza	UFLA
Dra. Cecília de Fátima Souza	DEA/UFV
Dra. Daniela Duarte de Oliveira	ASA

Dr. Tadayuki Yanagi Junior  
Orientador

**LAVRAS - MG**

**2014**

Aos meus pais, Francisco (*in memoriam*) e Ana Maria,  
pela educação, perseverança e ensinamentos constantes,  
**OFEREÇO**

*Aos meus irmãos, Elaine, Edilaine, Elizabete e Clodoaldo (in memoriam), à  
minha família e à minha companheira Luciene, pela paciência e por ter torcido  
constantemente pelas minhas conquistas e vitórias. Em especial às minhas filhas  
Emilly e Emanuely, por terem suportado, tantas vezes, minha ausência, em  
razão da distância que nos separa para a conclusão desta tese.*

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por olhar sempre por mim, abrindo as portas do meu caminho e promovendo oportunidade para o término desta jornada.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), por meio do Departamento de Engenharia, pela oportunidade e por ter acreditado no meu potencial de terminar com êxito este doutorado.

Ao meu orientador, Prof. Tadayuki Yanagi Junior, pela competência dos ensinamentos, companheirismo, amizade, dedicação e profissionalismo exemplar, demonstrando confiança e estímulo durante a execução desta tese.

Aos amigos do Grupo de Pesquisa em Construções e Ambiente em Biosistemas (COAMBI) da UFLA, Alessandro, Dian, Gregory, Leonardo, Lucas, Jaqueline e Patrícia, pelo companheirismo demonstrado continuamente.

À banca examinadora, composta pelos professores Alessandro Torres Campos, Ângela Dayana Barrera de Brito, Cecília de Fátima Souza, Daniela Duarte de Oliveira, Francisco Carlos Gomes e ao Sérgio Martins de Souza, pela participação, procedentes correções e sábias e oportunas sugestões que possibilitaram a conclusão deste trabalho.

Aos professores e funcionários do Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras, pelo zelo e competência com que desempenham suas atividades.

Aos colegas que estiveram sempre presentes nas horas boas e também nas horas difíceis, torcendo por mim, Alessandro, Daiane, Flavio, Lucas, Murilo, Mariana, Otavio e Kleber, pela grande amizade.

Aos proprietários e funcionários da granja São Jorge, pelo apoio e atenção, fornecendo os ovos indispensáveis ao desenvolvimento deste experimento.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pesquisa de Nível Superior, a Capes, que patrocinou meus estudos por meio da concessão de uma bolsa.

Enfim, agradeço a todos que contribuíram por mais essa importante conquista pessoal.

*Muito obrigado!*

## AUTOBIOGRAFIA

EBERSON SILVA, filho de Francisco de Assis Justino Silva e Ana Maria da Silva, nasceu na cidade de Passos, MG, em 23 de Janeiro de 1977, onde se formou em Engenharia Agrônômica pela Faculdade de Engenharia de Passos (FEP/UEMG *Campus de Passos*), em dezembro de 2005. Durante a graduação, foi monitor da disciplina de topografia nos cursos de Agronomia e Engenharia Civil da FEP. Prestou serviços como auxiliar de topógrafo, pela Engenharia de projetos (GEOMAPA) Ltda. Foi membro do centro acadêmico na FEP no curso de Agronomia, em 2004 e 2005. Em março de 2006, iniciou o Mestrado em Engenharia Agrícola, na UFLA, realizando seus estudos na área de Construções e Ambiência. Ao término de seu Mestrado, em (2007), iniciou sua carreira de docente na (FEP/UEMG Campus de Passos), hoje Faculdades Integradas do Sudoeste Mineiro, até o presente. Conselheiro do Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Minas Gerais até o presente. Iniciou o Doutorado, em março de 2010, em Engenharia Agrícola, na área de Construções e Ambiência na UFLA, com término em 2014.



## RESUMO

O ovo tem sido objeto de estudo na indústria avícola com os cálculos de transferência de calor e massa e na biologia, avaliando a capacidade de eclosão e fertilidade. Na área de medicina, vem-se extraindo o colágeno da casca do ovo para o uso em tratamentos cirúrgicos e como fonte de cálcio para o tratamento de fraturas. Em razão de sua importância em vários segmentos, objetivou-se, com essa pesquisa, testar diversos materiais (água, óleo e semente de painço) na determinação do volume de ovos, por meio do método de imersão, prever a área superficial ( $A_s$ ) e volume ( $V$ ) de ovos de galinhas de postura, por meio de equações empíricas ajustadas e da literatura. Para a determinação da  $A_s$  e  $V$ , fez-se necessário coletar cinco repetições do volume por imersão, dimensões do eixo maior, eixo menor e a circunferência longitudinal de cada ovo de postura, para o ambiente não interferir na qualidade do mesmo. De acordo com os resultados obtidos no presente trabalho, os materiais testados para a determinação do  $V$ , não apresentaram diferença significativa ( $p > 0,05$ ). Entretanto, verificou-se que o uso da semente de painço apresenta vantagens na determinação do volume por imersão, devido à facilidade de manuseio em laboratório. No geral, os modelos para estimativa da  $A_s$  e  $V$  de ovos, propostos neste trabalho e oriundos da literatura, apresentaram valores médios próximos aos obtidos pela equação usada como referência (polinomial de 6º grau com 12 pontos) e aos valores obtidos experimentalmente, respectivamente.

Palavras-chave: Modelos matemáticos. Área superficial. Volume. Ovo.

## ABSTRACT

The egg has been object of studies in the poultry industry through the determination of heat and mass transfer and in the biology assessing the hatching and fertility ability. In the medical field, it has been extracting collagen from eggs hell membranes for use in surgical treatments, and also as source of calcium for treating fractures. Due to its importance, this research was performed aiming to test several materials (water, oil and millet seeds) in the determination of eggs volume, using immersion method, and to predict the surface area ( $A_s$ ) and volume ( $V$ ) of eggs from laying hens, using adjusted empirical equations, and from the literature. Five samples were collected of volume using immersion, measurements of the major and minor axis, and the longitudinal circumference of each egg hatched, in order to minimize environmental interference on eggs quality. According to results, there was no statistically significant difference among the materials tested for determining the volume ( $p>0.05$ ). Overall, the proposed and derived from literature models to predict  $A_s$  and  $V$  of eggs presented mean values close to that obtained by the reference equation (6<sup>o</sup> degree polynomial with 12 points) and the experimentally values, respectively.

Key-words: Mathematical models. Surface area. Volume. Egg.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Determinação do volume de ovo por meio do método de imersão .....	28
Figura 2	Imagem do ovo com escalímetro de referência para correção da escala .....	29
Figura 3	Medições das dimensões lineares dos eixos (A) maior e (B) menor dos ovos .....	30
Figura 4	Foto ilustrativa do traçado do eixo longitudinal e subdivisões equidistantes para obtenção de pares de dados a serem usados no ajuste de modelos de regressão polinomial.....	30
Figura 5	Perfil gerado pelo polinômio com 11 pontos (point-plot) de 6º grau (A) e, em seguida, o perfil do ovo obtido, centralizado e normalizado (B) .....	31
Figura 6	Exemplo da imagem da curva do ovo obtida para o polinômio ajustado com 11 pontos e de 6º grau expressa (em azul) e pela equação 18 do ovo (em vermelho).....	34
Figura 7	Medições da circunferência longitudinal dos ovos experimentais .....	36
Figura 8	Relação funcional entre as áreas superficiais de ovos estimadas por meio das equações polinomiais de (A) 6º grau ajustada por meio de 11 pontos, (B) 6º grau ajustada por meio de 21 pontos e do (C) 10º ajustada por meio de 21 pontos e as estimadas pela equação polinomial de 6º grau com 12 pontos considerada como referência .....	44

Figura 9	Relação funcional entre as áreas superficiais de ovos estimadas por meio da equação 19 aplicada à equação polinomial de (A) 6º grau ajustada por meio de 11 pontos, (B) 6º grau ajustada por meio de 12 pontos, (C) 6º grau ajustada por meio de 21 pontos e do (C) 10º ajustada por meio de 21 pontos e as estimadas pela equação polinomial de 6º grau com 12 pontos considerada como referência.....	45
Figura 10	Relação funcional entre as áreas superficiais de ovos estimadas por meio das equações propostas na literatura (A) Equação 2 (NARUSHIN, 1997), (B) Equação 3 (NARUSHIN, 2001), (C) Equação 5 (NARUSHIN, 2005) e (C) Equação 6 (NARUSHIN, 2005) e as estimadas pela equação polinomial de 6º grau com 12 pontos considerada como referência.....	46
Figura 11	Relação funcional entre os volumes de ovos estimados por meio das equações polinomiais de (A) 6º grau ajustada por meio de 11 pontos, (B) 6º grau ajustada por meio de 12 pontos, (C) 6º grau ajustada por meio de 21 pontos, (D) 10º ajustada por meio de 21 pontos e estimada pelo método de imersão considerada como referência .....	52
Figura 12	Relação funcional entre os volumes de ovos estimados por meio da equação do ovo de (A) 6º grau ajustada por meio de 11 pontos, (B) equação do ovo de 6º grau ajustadas por meio de 12 pontos, (C) equação do ovo de 6º ajustadas por meio de 21 pontos, (D) equação do ovo ajustadas por meio de 21 pontos com 10º grau e estimadas pelo método de imersão considerada como referência .....	53

Figura 13	Relação funcional entre os volumes dos ovos estimadas por meio das equações propostas na literatura (A) Equação 7 (NARUSHIN, 2001), (B) Equação 8 (NARUSHIN, 2005), (C) Equação 9 (NARUSHIN, 2005) e (D) Equação 10 (NARUSHIN, 2005) e estimadas pelo método de imersão considerada como referência .....	54
Figura 14	Relação funcional entre o volume dos ovos estimados por meio das equações propostas na literatura (A) Equação 11 (NARUSHIN, 2001), (B) Equação 12 (NARUSHIN, 1997), e estimadas pelo método de imersão considerada como referência .....	55

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Análise de variância dos materiais em função das classificações dos ovos .....	37
Tabela 2	Índice de forma em função das classificações dos ovos .....	38
Tabela 3	Principais informações sobre as equações de regressão polinomiais ajustadas para caracterização dos perfis dos ovos .....	38
Tabela 4	Estimativa da área superficial de ovos por classificação de tamanho .....	40
Tabela 5	Volume de ovos por classificação de tamanho .....	47

## LISTA DE SÍMBOLOS E SIGLAS

<b>a</b>	Constante
<b>As</b>	Área superficial do ovo (cm <sup>2</sup> )
<b>A<sub>med</sub></b>	Área média
<b>b</b>	Constante
<b>Cl</b>	Circunferência longitudinal (mm)
<b>°C</b>	Graus
<b>C</b>	Comprimento máximo (mm)
<b>C</b>	Comprimento do ovo (cm)
<b>CV</b>	Coefficiente de variação
<b>F1</b>	Equação deduzida do ovo
<b>F6</b>	Equação do polinômio
<b>IC</b>	Intervalo de confiança
<b>IF</b>	Índice de forma
<b>L</b>	Largura máxima do ovo (cm)
<b>L</b>	Largura máxima (mm)
<b>σ</b>	Desvio padrão médio
<b>Max.X</b>	Máximo de X
<b>Max.Y</b>	Máximo de Y
<b>n</b>	Coefficiente de fórmula (cm)
<b>Seq</b>	Sequência

<b>V</b>	Volume do ovo (cm <sup>3</sup> )
<b>V<sub>med</sub></b>	Volume médio
<b>XCen</b>	X Centralizado
<b>XNor</b>	X Normalizado
<b>XNor<sup>2</sup></b>	X Normalizado ao quadrado
<b>YCen</b>	Y Centralizado
<b>YNor</b>	Y Normalizado
<b>YNor<sup>2</sup></b>	Y Normalizado ao quadrado
<b>ZCT</b>	Zona de conforto térmico



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	17
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	20
<b>2.1</b>	<b>A modelagem matemática na avicultura</b> .....	20
<b>2.2</b>	<b>Determinação do volume de ovos por imersão</b> .....	21
<b>2.3</b>	<b>Parâmetros geométricos da forma do ovo</b> .....	21
<b>2.4</b>	<b>Determinações da área superficial e volume de ovos de galinhas poedeiras</b> .....	22
<b>2.4.1</b>	<b>Área superficial</b> .....	22
<b>2.4.2</b>	<b>Volume</b> .....	24
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	27
<b>3.1</b>	<b>Ovos experimentais</b> .....	27
<b>3.2</b>	<b>Determinação do volume pelo método da imersão</b> .....	27
<b>3.3</b>	<b>Determinação de índice da forma do ovo</b> .....	28
<b>3.4</b>	<b>Determinação da área superficial pelo polinômio com 12 pontos de 6º grau por classificação</b> .....	28
<b>3.5</b>	<b>Caracterização do perfil dos ovos</b> .....	28
<b>3.6</b>	<b>Equações para a determinação da área superficial e volume de ovos aplicados aos polinômios</b> .....	34
<b>3.7</b>	<b>Determinação da área superficial e volume por meio de equações propostas na literatura</b> .....	35
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	37
<b>4.1</b>	<b>Escolha do material para determinação do volume dos ovos por imersão</b> .....	37
<b>4.2</b>	<b>Determinação do índice de forma</b> .....	37
<b>4.3</b>	<b>Modelos para determinação da área superficial e volume de ovos</b> .	38
<b>4.4</b>	<b>Ajustes da área superficial</b> .....	39
<b>4.5</b>	<b>Ajuste do volume</b> .....	46
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	57
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	58

## 1 INTRODUÇÃO

A avicultura brasileira é uma das principais atividades agropecuárias do país, ocupando o segundo lugar em produção no cenário nacional e gerando 3,5 milhões de empregos diretos e indiretos, sendo um dos setores que mais crescem e evoluem tecnologicamente (UNIÃO BRASILEIRA DE AVICULTURA - UBABEF, 2013).

Os avanços tecnológicos nas áreas de genética, nutrição, ambiência e sanidade propiciaram que o país produzisse cerca de 686,275 milhões de dúzias de ovos no primeiro trimestre de 2014, apresentando aumento de 2,41 %, em relação ao mesmo período de 2013. Dessa produção, foram exportadas 12,39 mil toneladas de ovos *in natura* e processados. O Estado de Minas Gerais produziu 73,003 milhões de dúzias de ovos, sendo o segundo maior produtor do país (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2013; UBABEF, 2013). Em relação à produção mundial, foram produzidos 681,992 milhões de dúzias, no segundo trimestre de 2013. O Brasil ocupa a sétima posição em produção e fecha o terceiro trimestre com 226,485 mil dúzias de ovos (IBGE 2013).

A formação do ovo começa no ovário e vai ganhando sua forma, à medida que passa pelo infundíbulo, magno, istmo, útero e vagina. Esse processo pode demorar de 25 a 26 horas aproximadamente, desde a liberação do ovulo (gema) oscito até a postura do ovo para o exterior do animal. O infundíbulo tem a função de captar o óvulo (gema), onde ocorre à penetração do espermatozoide para a fertilização e, nele, formam-se as calazas (proteínas mucinas retorcidas que mantêm a gema no centro do ovo), permitindo, assim, o transporte do óvulo por cinco minutos, no seu interior, possibilitando uma transação gradual para o magno (COLVILLE; BASSERT, 2010; GARCIA; FERNÁNDEZ, 2001).

O magno é uma região espiralada onde ocorre à liberação da secreção de albumina (clara), adição de mucina e da maior parte de sódio, cálcio e magnésio, que envolve o óvulo. No istmo são formadas as membranas testáceas (internas e externas), encontradas aderidas à casca do ovo que contém as fibras de queratina (COLVILLE; BASSERT, 2010; GARCIA; FERNÁNDEZ, 2001).

O útero é uma região expandida em forma de saco espesso do sistema reprodutivo, responsável por regular o conteúdo salino e aquoso, pela formação da cutícula, pela formação da casca e dos pigmentos. Na vagina, é secretada uma cutícula conhecida de mucosa (mucina) substância antibacteriana que seca rapidamente, conferindo ao ovo certo brilho natural. Essa cutícula fecha os poros da casca do ovo, protegendo-o de contaminação ao passar pela cloaca (COLVILLE; BASSERT, 2010; GARCIA; FERNÁNDEZ, 2001).

De acordo com a classificação especificada pela Legislação e Resolução 05/91 da Coordenação Geral de Inspeção de Produtos de Origem Animal (CIPOA) e Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), os ovos de galinha poedeira são classificados como: pequenos (45 a 50g), médios (50 a 55g), grandes (55 a 60g), extras (60 a 65g) e jumbos (maiores que 66g) (HI-LINE BROWN, 2011).

North e Bell (1990) consideram um ovo como padrão, quando os mesmos apresentarem índice de forma de 74, podendo variar de 65 a 80 em decorrência da idade das aves e período de muda forçada que pode acarretar em ovos desuniformes prejudicando na acomodação dos ovos dentro das bandejas.

Naves et al. (2007) afirmaram que a casca do ovo em pó é muito utilizada nos cereais e farinhas que compõem os alimentos. Em razão do alto teor de cálcio, a casca é um mineral essencial para o organismo, podendo ser utilizado na gestação, lactação, adolescência e senescência para o combate do desenvolvimento de osteoporose e para fortificar os ossos.

A determinação da área superficial e volume de ovos de galinhas de postura são importantes para avaliar a capacidade eclosão, prever a fertilidade de pintinhos, inferir sobre a qualidade da casca, calcular as transferências de calor e massa entre o ovo e o ambiente ao seu redor, dar suporte ao processo de fabricação de bandejas para acomodação dos ovos no armazenamento e inferir sobre o sistema de classificação e industrialização (CARVALHO; FERNANDES, 2013; NARUSHIN, 2005).

Em razão da grande importância do ovo na alimentação e na indústria, objetivou-se, com o presente trabalho, testar diversos materiais (água, óleo e semente de painço) na determinação do volume de ovos, por meio do método de imersão e prever a área superficial e volume de ovos de galinhas de postura, por meio de equações empíricas ajustadas e da literatura.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 A modelagem matemática na avicultura**

Rondón, Murakami e Sakaguti (2011) afirmaram que a modelagem matemática é um método que investiga, por meio da matemática os problemas, fenômenos ou situações das mais diferentes áreas, como a física, biologia, química e ciências sociais. A modelagem computacional tem se mostrado promissora no setor avícola para predição de diversas variáveis resposta de interesse, tais como, respostas produtivas, respostas fisiológicas, dentre outras.

Os modelos estatísticos são também chamados de modelos empíricos. Esses modelos baseiam-se em regressões simples, múltiplas, lineares ou não. A principal característica desse tipo de modelo é a busca de relações entre as variáveis de estudo que, a princípio, não são conhecidas. Por isso, o modelo é exploratório ou empírico, sendo que, o objetivo de todo modelo é explicar o funcionamento de um determinado sistema. A premissa básica de todo modelo, por mais complexo que possa ser, é que se trata de um método limitado de representar a natureza, assim todo modelo precisa ser testado (HAKANSON; PATERS, 1995).

Diversos modelos empíricos têm sido ajustados a dados relacionados à avicultura para a estimativa da temperatura corporal de frangos de corte (PONCIANO et al., 2011), da eficiência de sistema de aquecimento auxiliar para aviários em função dos índices de conforto térmico (CAMPOS et al., 2013), do desempenho produtivo de frangos de corte de 1 a 21 dias de idade (PONCIANO et al., 2012).

## 2.2 Determinação do volume de ovos por imersão

O peso do ovo e a qualidade da casca são parâmetros de avaliação no processo de seleção dos ovos que irão para o incubatório. Segundo Trindade, Nascimento e Furtado (2007), as aves mais jovens em início de postura produzem maior porcentagem de ovos e vai diminuindo essa produção com a idade das poedeiras. Animais mais velhos tendem a produzir ovos maiores, mais pesados, com cascas finas e com gemas e clara maiores. Um dos métodos para aquisição do volume é pela teoria de Arquimedes, que consiste em mergulhar a amostra em um recipiente e o material deslocado é considerado o volume do objeto. Para a determinação de volume, pode-se utilizar fluidos (água e óleo) ou cereais (semente de painço) (HOFFMANN; VOLKER, 1969).

## 2.3 Parâmetros geométricos da forma do ovo

O índice de forma (IF) é um parâmetro geométrico de medida para conferir se o ovo está dentro dos padrões de resistência. Esse índice pode ser adquirido pela equação 1.

$$\text{Índice de forma} = \frac{\text{Dimensão linear do eixo menor}}{\text{Dimensão linear do eixo maior}} \times 100 \quad (1)$$

Oliveira e Oliveira (2013), trabalhando com ovos de galinhas de postura da linhagem Dekalb White, num período de 12 meses, relatam que o IF encontrado no experimento foi de 74,42. Izquierdo et al. (2012), estimando a qualidade de ovos de galinhas poedeiras da raça White Leghorn (L<sub>33</sub>), observaram valores médios de IF de 75%.

## **2.4 Determinações da área superficial e volume de ovos de galinhas poedeiras**

A área superficial e volume são parâmetros importantes na biologia e engenharia para estudos de fertilidade de espécies ovíparas. Essas informações podem ser adquiridas por meio de equações, por ser um método não destrutivo, propicia que a integridade do ovo seja mantida.

De acordo com Narushin (1997), a representação da forma de um ovo pode ser adquirida pelas medidas simples, comprimento (C) e largura máxima (L) em equações para cálculo de área superficial ( $A_s$ ) e volume (V).

Narushin (1993) ressalta a importância da determinação adequada do contorno de ovos de poedeiras, para se aplicar nas equações de estimativa de  $A_s$  e V, permitindo a obtenção de resultados mais satisfatórios.

Naruschin (2001), comparando diferentes métodos de cálculos de V de ovos de galinhas poedeiras por meio do comprimento (C) medido por um paquímetro, e circunferência longitudinal ( $C_L$ ), mensurado por meio de uma fita métrica, obteve resultados com erro médio de volume na ordem de  $\pm 5\%$ .

Trindade, Nascimento e Furtado (2007), ao avaliarem a qualidade de ovos de galinhas poedeiras no semiárido paraibano, verificaram que os parâmetros  $A_s$  e V, não foram influenciados pela idade das aves, sendo que, os coeficientes de variação para a  $A_s$  e V foram de 2,70 e 4,30, respectivamente.

### **2.4.1 Área superficial**

Narushin (1997) afirmou que é possível prever a área superficial, em função do comprimento e largura máxima do ovo (equação 2), medidos por meio de paquímetro, além do volume do ovo. O erro da estimativa obtido foi de aproximadamente 5,0 %.

$$A_s = 4,7881 \cdot V^{\frac{2}{3}} \cdot \frac{C^{0,104}}{L} \quad (2)$$

Em que,

$A_s$ : área superficial do ovo ( $\text{cm}^2$ );

$V$ : volume do ovo ( $\text{cm}^3$ );

$C$ : Comprimento (mm);

$L$ : Largura máxima (mm).

De acordo com Narushin (2001), a equação 3 pode ser utilizada para a determinação da  $A_s$  de ovos de galinhas poedeiras. O autor destaca que, ao se usar os dados comprimento máximo ( $C$ ) e largura máxima ( $L$ ), obtém-se a área superficial.

$$A_s = 3,142 \cdot C^2 \cdot n^{-0,532} \quad (3)$$

Por sua vez, o parâmetro “n” pode ser calculado pela equação 4.

$$n = 1,057 \cdot \left(\frac{C}{L}\right)^{2,372} \quad (4)$$

Em que,

$A_s$ : área superficial do ovo ( $\text{cm}^2$ );

$C$ : comprimento máximo do ovo (mm);

$n$ : parâmetro usado para o cálculo de  $A_s$ ;

$L$ : largura máxima do ovo (mm).



Narushin (2005), ao trabalhar com comprimento e largura máxima para a aquisição da  $A_s$  (equações 5 e 6) de ovos de galinhas poedeiras em início de produção, obteve coeficientes de determinação de 0,96.

$$A_s = (3,155 - 0,0136 \cdot C + 0,0115 \cdot L) \cdot C \cdot L \quad (5)$$

$$A_s = \left(0,9658 \cdot \frac{L}{C} + 2,1378\right) \cdot C \cdot L \quad (6)$$

Em que,

$A_s$ : área superficial do ovo ( $\text{cm}^2$ );

C: Comprimento (mm);

L: Largura máxima (mm).

#### 2.4.2 Volume

Narushin (2001) destaca que o volume pode ser estimado pela equação 7 ilustrada a seguir.

$$V = \frac{2 \cdot \pi \cdot C^3}{3 \cdot (3 \cdot n + 1)} \quad (7)$$

Em que,

C: comprimento do ovo (cm);

n: coeficiente da fórmula (adimensional).

Narushin (2005) ajustou três equações para o cálculo de V. Por meio da equação 8, obteve-se um coeficiente de determinação de 0,955, entretanto, o autor afirma que a equação pode ser usada para qualquer tipo de ovo da

natureza. A equação 9 fornece resultados satisfatórios, com  $R^2 = 0,958$ . Por sua vez, o autor destaca que a equação 10 foi ajustada, especificamente, para uma determinada amostra de ovos, obtendo  $R^2 = 0,957$ .

$$V = \left(0,452 + 0,069 \cdot \frac{C}{L}\right) \cdot C \cdot L^2 \quad (8)$$

$$V = (0,6057 - 0,0018 L)C \cdot L^2 \quad (9)$$

$$V = 0,525 \cdot C \cdot L^2 \quad (10)$$

Em que:

C: comprimento do ovo (mm);

L: largura máxima do ovo (mm).

Narushin (2001), por meio de geometria interna de sólidos, desenvolveu a equação 11 para predição de V em função do comprimento e diâmetro máximo do ovo.

$$V = \frac{C^3}{1339,848 \cdot (C/C_L)^{6,024} + 0,478} \quad (11)$$

Sendo,

C: comprimento do ovo, eixo medido com um paquímetro (mm);

$C_L$ : circunferência longitudinal, utilizando uma fita métrica (mm).

Narushin (1997) propôs a equação 12 para a determinação de V em função de L e C, obtidos por meio de uma metodologia, para a descrição geométrica de um ovo por meio da determinação de seu perfil.

$$V = 0,49645 \cdot C \cdot L^2 \quad (12)$$

Em que,

V = Volume do ovo (cm<sup>3</sup>);

C = comprimento do ovo (cm);

L = largura máximo do ovo (cm).

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Ovos experimentais**

Os ovos usados nesta pesquisa, foram obtidos em uma integradora situada no município de Lavras, Minas Gerais, localizado em uma região cujo clima é classificado como Cwa pela Köppen, temperado úmido com inverno seco. Cinquenta e cinco ovos oriundos de galinhas poedeiras da linhagem Dekalb Brown, foram avaliados, após serem classificados como pequenos (45 a 50g), médios (50 a 55g), grandes (55 a 60g), extras (60 a 65g) e jumbos (maiores que 66g), sendo onze ovos de cada classificação. Logo em seguida, foram mensuradas suas massas específicas em uma balança digital com precisão de  $\pm 0,05g$ . Para não ocorrer interferência do ambiente na massa, área superficial e no volume, foram escolhidos e transportados ovos do dia, no período matutino.

#### **3.2 Determinação do volume pelo método da imersão**

Para definir qual material poderia ser usado para imersão dos ovos, avaliaram-se dois fluidos (água e óleo) e um cereal (semente de painço). Foram avaliados três ovos de cada classificação, totalizando quinze ovos. O volume de cada ovo foi obtido por meio de imersão, que consistiu em mergulhar a amostra em um Becker, sendo a diferença do produto deslocada o volume do objeto (ovo), sempre levando em consideração o erro de paralaxe no qual o menisco ficará exatamente na altura dos olhos, para evitar erros de leitura, decorrente do desvio óptico (Figura 1) (MOHSENIN, 1970; SILVA, 2011). Posteriormente, procedeu-se à análise de variância e ao teste de médias de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade para definir qual o material seria usado no decorrer do experimento.



Figura 1 Determinação do volume de ovo por meio do método de imersão

### 3.3 Determinação de índice da forma do ovo

O índice de forma (IF) foi adquirido, por meio da relação entre o diâmetro menor e maior do ovo multiplicado por 100 (cem), conforme equação 1.

### 3.4 Determinação da área superficial pelo polinômio com 12 pontos de 6º grau por classificação

A equação polinomial de 6º grau para estimativa da área superficial do ovo em função de 12 pontos distanciados equitativamente, ao longo do eixo de maior dimensão (eixo x), foi usada como referência por considerar o ponto central, metade do eixo, no ajuste, possibilitando, teoricamente, melhor ajuste. Ademais, o uso de onze pontos caracteriza-se por uma quantidade razoável de pontos sem ser excessiva, o que se traduz na redução do tempo para a análise.

### 3.5 Caracterização do perfil dos ovos

Imagens digitais foram retiradas de cada ovo por meio de uma câmera digital de 14,2 megapixels. Cada ovo foi colocado em uma superfície plana, ao

lado de um escalímetro (Figura 2), para servir de referência no processo de calibração das imagens digitais, durante o processo de importação para o programa Autocad<sup>®</sup> 2011 (AUTODESK, 2011).



Figura 2 Imagem do ovo com escalímetro de referência para correção da escala

As dimensões lineares dos eixos maior (Figura 3A) e menor (Figura 3B) foram mensuradas por meio de um paquímetro digital com precisão  $\pm 0,04$  mm. Essas medições foram realizadas para propiciar a verificação do procedimento de importação das imagens digitais para o AutoCAD<sup>®</sup> na escala 1:1 por meio da aplicação do comando *scale*. Usou-se a média de cinco repetições das medições com propósito de reduzir os erros durante a coleta de dados.

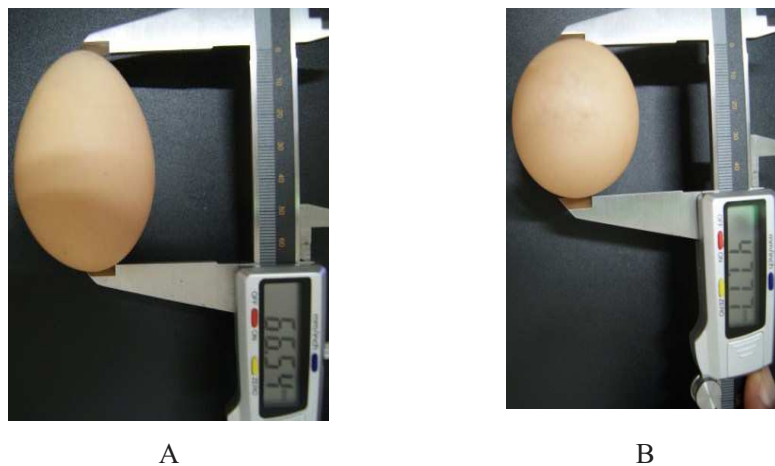


Figura 3 Medições das dimensões lineares dos eixos (A) maior e (B) menor dos ovos

Posteriormente, traçou-se um eixo longitudinal subdividido em 11, 12 e 21 pontos equidistantes (Figura 4), de forma a se obter pares de dados cartesianos correspondentes às dimensões no eixo x e y que caracterizam o perfil dos ovos.

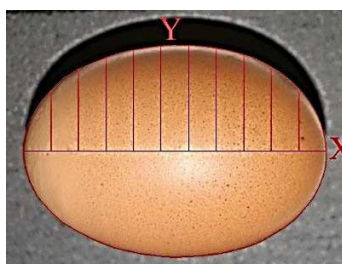


Figura 4 Foto ilustrativa do traçado do eixo longitudinal e subdivisões equidistantes para obtenção de pares de dados a serem usados no ajuste de modelos de regressão polinomial

Esses pares de dados foram usados no ajuste de polinômios (Figura 5A) de 6<sup>o</sup> e 10<sup>o</sup> graus, além de uma equação proposta que, para seu desenvolvimento, foi necessário centralizar o eixo y e normalizar, a fim de obter o ovo simétrico, possibilitando a determinação do volume e da área superficial de cada ovo avaliado. O comportamento dos pontos (Figura 5A), ilustrado como o perfil do contorno do ovo, está representado por um polinômio. Para corrigir o contorno do ovo, fez-se necessário centralizar e normalizar os eixos X e Y (Figura 5B) de forma que todos os valores assumam intervalos de -1 a 1, conforme as etapas especificadas a seguir, com a aplicação de comandos do programa computacional MAPLE 17 (MEADE, 2013).

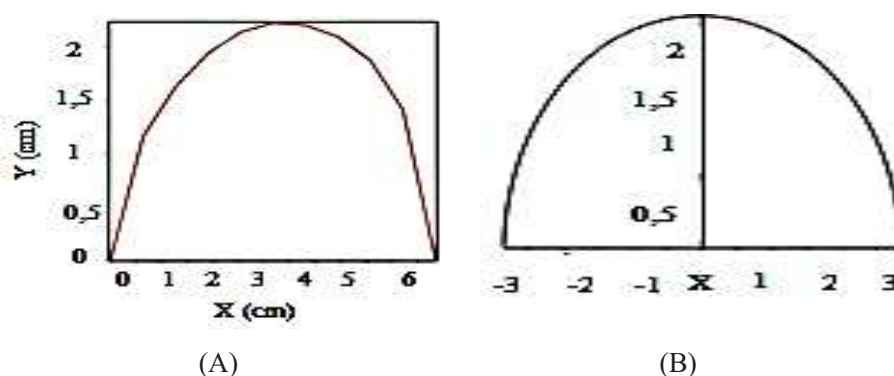


Figura 5 Perfil gerado pelo polinômio com 11 pontos (point-plot) de 6<sup>o</sup> grau (A) e, em seguida, o perfil do ovo obtido, centralizado e normalizado (B)

A aplicação das funções de 13 a 18 resultam em irregularidade do ovo de forma evidente (Figura 5A). A equação 13 permite a centralização do ovo com a finalidade de gerar outro banco de dados para a visualização da deformação pelo raio e ângulo.



$$XCen = X - \frac{\max(X)}{2} \quad (13)$$

Em que,

XCen: valor do ponto x em um eixo centralizado;

X: = valor do ponto do banco de dados do eixo x;

Max(x): maior valor do eixo x do banco de dados (comprimento do ovo).

Com os dados centralizados em torno da abscissa 0, esses foram normalizados (equação 14) e, posteriormente, os dados foram elevados ao quadrado para a geração da superfície mais regular (equação 15).

$$Xnor = \left( \frac{XCen}{\max(XCen)} \right) \quad (14)$$

$$Xnor^2 = (Xnor)^2 \quad (15)$$

Sendo,

Xnor: são os pontos normalizados do eixo x;

Xnor<sup>2</sup>: x normalizado elevado ao quadrado;

Xcen: valor do ponto x em um eixo centralizado;

Todos os passos realizados para os dados da abscissa (X) foram repetidos para os dados Y, e as equações 16 e 17 descrevem, matematicamente, a normalização e o quadrado de Y.

$$YNor = \left( \frac{YCen}{\max(YCen)} \right) \quad (16)$$

$$Ynor^2 = (Ynor)^2 \quad (17)$$

Sendo,

Ycen: valor do ponto y em um eixo centralizado;

Ynor: são os pontos normalizados do eixo y;

Ynor<sup>2</sup>: y normalizado elevado ao quadrado;

max (Y): maior valor do eixo y do banco de dados (largura do ovo)

Uma maneira para descrever o contorno do ovo é iniciar a representação por meio de expressões matemáticas da elipse (equação 18) e aumentando um dos eixos. Em seguida, a curva que define o perfil do ovo deve ser obtida por meio de uma regressão, usando o banco de dados original.

$$x^2 + y^2 \cdot b \cdot e^{a \cdot x} = 1 \quad (18)$$

Sendo,

x: a coordenada x normalizada;

y: coordenada y normalizada;

b e a: constantes da equação do ovo.

Inserindo os dados Xnor<sup>2</sup> na equação 18, tem-se como resultado valores de Y estimados pela equação do ovo, os quais foram representados com os dados obtidos pelo polinômio em uma mesma janela para comparação em termos de amplitude dos contornos do ovo. Na Figura 6, a linha azul ilustra o contorno obtido pela regressão para um polinômio de 6<sup>o</sup> grau, enquanto que a linha vermelha representa o contorno obtido segundo a equação do ovo (equação 18).

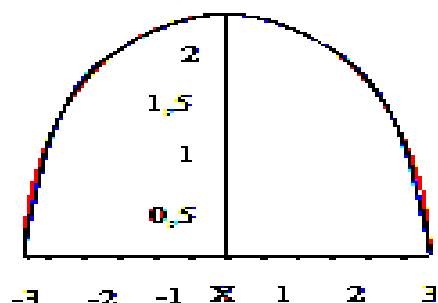


Figura 6 Exemplo da imagem da curva do ovo obtida para o polinômio ajustado com 11 pontos e de 6º grau expressa (em azul) e pela equação 18 do ovo (em vermelho)

### 3.6 Equações para a determinação da área superficial e volume de ovos aplicados aos polinômios

Após a representação do perfil do ovo, poder-se-á obter dois valores para os quais  $Y$  é igual a 0, as raízes das expressões matemáticas, em que a primeira (a) representa o início do contorno do ovo e o segundo valor (b) está associado ao término do contorno do ovo. Esses valores têm sua importância para definir os intervalos de integração que irão estimar a área superficial e o volume dos ovos.

Os cálculos do volume e da área superficial dos ovos foram estimados por meio das equações 19 e 20.

$$V = \pi \cdot \int_a^b y(x)^2 \cdot dx \quad (19)$$

$$\hat{A}_s = 2\pi \cdot \int_a^b y(x) \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{d}{dx} y(x)\right)^2} \cdot dx \quad (20)$$

Sendo,

$y(x)$ : representa o polinômio obtido a partir da regressão ou  $y(x)$  obtido da equação do ovo;

V: volume do ovo;

Ás: área superficial do ovo;

a e b: limites de integração, em que a é o início e b o término da representação do contorno do ovo.

Para cada amostra dentre suas classificações, foram usados os polinômios e as equações 19 e 20 aplicadas aos polinômios, que, posteriormente, foram consideradas como equação do ovo obtido por regressão. Em seguida, foram estimadas as áreas superficiais e volumes dos ovos pelo polinômio e pela equação do ovo.

Os dados de área superficial encontrados para os ovos, por meio da equação do ovo utilizando doze pontos com 6<sup>º</sup> grau, após ser aplicado a (equação 20), foram considerados como referência para a comparação com os demais métodos estudados. Por sua vez, os dados de volume utilizados como referência foram calculados pelo método de imersão e deslocamento descritos na sessão 3.2.

### **3.7 Determinação da área superficial e volume por meio de equações propostas na literatura**

As determinações das áreas superficiais pelas equações da literatura foram estimadas por meio das equações 2, 3, 5 e 6 descritas neste trabalho.

Os volumes de ovos foram estimados pelas equações 7, 8, 9, 10, 11 e 12 disponíveis neste trabalho.

Para a estimativa do volume e área superficial de ovos, por meio das equações propostas pela literatura, além das dimensões lineares dos eixos mensuradas, por meio de um paquímetro digital com precisão  $\pm 0,04$  mm, foi necessária a mensuração da circunferência longitudinal do ovo que foi feita, por meio de uma fita métrica (Figura 7). Cinco repetições das medições foram realizadas e, logo em seguida, fez-se a média dos valores medidos, para reduzir possíveis erros experimentais.



Figura 7 Medições da circunferência longitudinal dos ovos experimentais

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Escolha do material para determinação do volume dos ovos por imersão

Foram realizados testes preliminares para a determinação do melhor material para a imersão dos ovos. Verificou-se não haver diferença significativa entre os três materiais testados para a determinação do volume, por meio da imersão dos ovos, levando em consideração a sua classificação (Teste Scott-Knott,  $p > 0,05$ ).

Tabela 1 Análise de variância dos materiais em função das classificações dos ovos

Método	Classificação				
	Pequeno	Médio	Grande	Extra	Jumbo
Água	40,8 a	50,5 a	50,5 a	60,0 a	73,7 a
Óleo	40,7 a	49,5 a	50,3 a	60,0 a	73,8 a
Semente de painço	41,3 a	51,0 a	53,0 a	61,2 a	74,4 a
CV (%)	5,43				

### 4.2 Determinação do índice de forma

Na Tabela 2, são listados os resultados médios de índice de forma para todas as classificações de ovos da linhagem Dekalb Brown. De acordo com os dados experimentais, desconsiderando as classificações dos ovos, a média do índice de forma é de 76,2, apresentando 2,2 acima do considerado como ovo padrão por North e Bell (1990), e 1,8 acima do valor encontrado por Oliveira e Oliveira (2013) que trabalharam com a linhagem Dekalb White. Ainda que os valores estejam acima dos encontrados pelos autores, os mesmos estão dentro do intervalo aceitável de 65 a 80, respectivamente.

Tabela 2 Índice de forma em função das classificações dos ovos

	Pequeno	Médio	Grande	Extra	Jumbo
Equação	$AS_{med}$	$AS_{med}$	$AS_{med}$	$AS_{med}$	$AS_{med}$
	IC $\pm$ 0,5				
Índice de forma	79	77	77	76	72

Nota:  $AS_{med}$ : área superficial média do ovo, IC: intervalo de confiança.

### 4.3 Modelos para a determinação da área superficial e volume de ovos

Com base nos pares de dados experimentais, que caracterizam o perfil dos ovos por meio das coordenadas x (maior eixo) e y (menor eixo), obtidos por meio da análise das imagens digitais dos ovos, foram ajustadas quatro equações polinomiais para cada ovo, sendo três de sexto grau (ajustadas com 11, 12 e 21 pares de dados) e uma de décimo grau (ajustada com 21 pares de dados). Na Tabela 3, estão listadas as principais informações relacionadas às 220 equações de regressão polinomiais para a caracterização dos perfis dos ovos.

Tabela 3 Principais informações sobre as equações de regressão polinomiais ajustadas para caracterização dos perfis dos ovos

Nº de pares de dados usados no ajuste	Nº de amostra ajustadas	Grau das funções polinomiais	Coefficiente médio de variação	Intervalo de $R^2$
11	55	6º	3,1	0,9948 até 1,0000
12	55	6º	2,9	0,9949 até 1,0000
21	55	6º	2,1	0,9954 até 0,9991
21	55	10º	3,0	0,9954 até 0,9991

#### **4.4 Ajustes da área superficial**

As principais informações referentes às equações ajustadas ou testadas para a estimativa das áreas superficiais médias dos ovos por classificação são listadas na Tabela 4.



Tabela 4 Estimativa da área superficial de ovos por classificação de tamanho

Equações	Área superficial de ovos por classificação de tamanho (cm <sup>2</sup> )														
	Pequeno			Médio			Grande			Extra			Jumbo		
	A <sub>Smed</sub>	$\sigma$	EP	A <sub>Smed</sub>	$\sigma$	EP	A <sub>Smed</sub>	$\sigma$	EP	A <sub>Smed</sub>	$\sigma$	EP	A <sub>Smed</sub>	$\sigma$	EP
Referência (equação polinomial 6 <sup>o</sup> grau ajustada com 12 pontos)	59	0,3		64	0,4		69	2,4		76	1,3		88	2,5	
Polinômio com 11 pontos 6 <sup>o</sup> grau	59	0,2	0,1	64	0,4	0,1	69	2,5	0,7	75	2,4	0,7	88	2,4	0,7
Polinômio com 21 pontos 6 <sup>o</sup> grau	59	0,2	0,1	64	0,4	0,1	69	2,7	0,8	77	1,2	0,4	89	2,5	0,7
Polinômio com 21 pontos 6 <sup>o</sup> grau	59	0,2	0,1	64	0,4	0,1	69	2,7	0,8	77	1,2	0,4	89	2,5	0,7
Equação do ovo com 11 pontos 6 <sup>o</sup> grau	60	0,3	0,1	64	0,4	0,1	70	2,4	0,7	75	2,4	0,7	89	2,5	0,7
Equação do ovo com 12 pontos 6 <sup>o</sup> grau	60	0,3	0,1	64	0,3	0,1	70	2,4	0,7	77	1,3	0,4	89	2,5	0,8
Equação do ovo com 21 pontos 6 <sup>o</sup> grau	60	0,4	0,1	64	0,4	0,1	69	2,7	0,8	77	1,2	0,4	89	2,5	0,7
Equação do ovo com 21 pontos 6 <sup>o</sup> grau	59	0,2	0,1	64	0,4	0,1	69	2,7	0,8	77	1,2	0,4	89	2,5	0,7
Equação 2 de Narushin 1997	58	0,7	0,2	63	0,6	0,2	70	1,4	0,4	75	1,4	0,4	85	2,2	0,7
Equação 3 de Narushin 2001	59	0,7	0,2	64	0,6	0,2	70	1,4	0,4	76	1,3	0,4	85	2,2	0,7
Equação 5 de Narushin 2005	64	0,8	0,2	70	0,6	0,2	77	1,6	0,5	83	1,8	0,6	95	2,6	0,8
Equação 6 de Narushin 2005	60	0,7	0,2	64	0,6	0,2	71	1,5	0,4	77	1,4	0,4	87	2,2	0,7

Nota: A<sub>Smed</sub>: área superficial média do ovo,  $\sigma$ : desvio padrão, EP: erro padrão e, IC: intervalo de confiança.

IC  $\pm 0,5$

Para os ovos classificados como pequenos, verificou-se que todas as equações polinomiais, a equação do ovo aplicada na equação polinomial de 10<sup>o</sup> grau ajustada com 21 pontos e a equação 3, proposta por Narushin (2001), resultaram em áreas superficiais, médias idênticas à calculada pela equação usada como referência (59 cm<sup>2</sup>). Verifica-se que os desvios padrão e erros padrão foram iguais a 0,2, e 0,1, respectivamente, exceto para a equação de Narushin (2001), cujo valor foi de 0,7 e 0,2. A equação 19, aplicada aos polinômios de 6<sup>o</sup> grau e a equação 6 deste trabalho, proposta por Narushin (2005) superestimaram a área superficial do ovo em 1 cm<sup>2</sup>, enquanto que, a equação 2 proposta por Narushin (1997) subestimou em 1 cm<sup>2</sup>. A equação 5, proposta por Narushin (2005), foi a que apresentou maior diferença em relação à referência, superestimando a área superficial em 5 cm<sup>2</sup>.

Em relação aos ovos classificados como médios, todas as equações apresentaram valores médios de área superficial idênticos àqueles obtidos pela equação considerada como referência, exceto aqueles estimados pela equação 1 proposta por Narushin (1997) e equação 5 proposta por Narushin (2005), que subestimaram, respectivamente a área superficial em 1 cm<sup>2</sup> e superestimou em 6 cm<sup>2</sup>, respectivamente. Para todas as equações, os desvios padrão variaram de 0,4, a 0,2 e o erro padrão de 0,1 a 0,2.

No que se refere aos ovos classificados como grande, as médias das estimativas das áreas superficiais obtidas pelas equações polinomiais de 6<sup>o</sup> e de 10<sup>o</sup> grau e a equação 20 aplicada aos polinômios de 6<sup>o</sup> e 10<sup>o</sup> grau, considerando 21 pontos, apresentaram médias idênticas à equação considerada como referência, sendo que os desvios padrão e erros padrão variaram no intervalo de 2,5 a 2,7 e de 0,7 a 0,8, respectivamente. As demais equações superestimaram a área superficial em até 2 cm<sup>2</sup>, exceto a equação 5, proposta por Narushin (2005), que superestimou esse valor em 8 cm<sup>2</sup>.

Para os ovos classificados como extra, apenas a equação 3 proposta por Narushin (2001) estimou a área superficial igual a equação polinomial ajustada com 12 pontos, considerada como referência. Enquanto que, a equação 2 proposta por Narushin (1997) subestimou a área superficial em  $1 \text{ cm}^2$ , as demais a superestimaram em  $1 \text{ cm}^2$ , exceto a equação 5 de Narushin (2005) que superestimou em  $7 \text{ cm}^2$ .

As áreas superficiais de ovos classificados como jumbo foram mais bem estimadas pela equação polinomial de 6º ajustado por meio de 11 pontos, no qual, a média das estimativas foi idêntica à da equação polinomial ajustada com 12 pontos usada como referência. As demais equações polinomiais e a equação do ovo aplicada às equações polinomiais ajustadas superestimaram a área superficial em  $1 \text{ cm}^2$ , enquanto que, a equação 6 proposta por Narushin (2005) subestimou em  $1 \text{ cm}^2$ . A equação 2 proposta por Narushin (1997, 2001) subestimou, em média, a área superficial em  $3 \text{ cm}^2$ . Por sua vez, a equação 5 proposta por Narushin (2005), que superestimou esse valor em  $7 \text{ cm}^2$ .

Aplicando-se as equações a todas as classificações de tamanho dos ovos, verificou-se que a equação polinomial de 6º ajustada por meio de 11 pontos foi a que apresentou menores desvios em relação à equação polinomial ajustada com 12 pontos, considerada como de referência. Entretanto, todas as demais equações ajustadas neste trabalho apresentaram desvios absolutos médios, em relação à equação considerada como de referência de  $1 \text{ cm}^2$ . Ressalta-se que a variação de  $1 \text{ cm}^2$  em relação ao valor de referência, representa erros da ordem de 1,12 a 1,72% para ovos classificados como pequenos e jumbos, respectivamente.

Em relação às equações propostas pela literatura, observa-se que a equação 3 (NARUSHIN, 2001) apresentou os menores desvios absolutos em relação à área superficial estimada pela equação considerada como referência para as classificações de ovos, variando de pequeno a extra, seguido pela

equação 2 (NARUSHIN, 1997). Entretanto, ao se considerar as estimativas para todas as classificações de tamanho, a equação 6, proposta por Narushin (2005) foi a que apresentou menores desvios absolutos. A equação 5 proposta por Narushin (2005) foi a que apresentou pior desempenho, superestimando os valores de área superficial. Os erros percentuais das estimativas, por meio dessa equação, foram de 8,47%, 9,38%, 9,21%, 11,69 e 7,95% para a classificação pequena, médio, grande, extra e jumbo, respectivamente.

Narushin (1977), aplicando diferentes métodos para a determinação da área superficial de ovos de poedeiras da linhagem Hy-line Brown observou que o valor médio de erro foi de 5,0 %, muito acima dos obtidos nas equações propostas neste trabalho, cujo valor máximo foi de 1,72%. Excetuando a equação 4 proposta por Narushin (2005), as demais equações da literatura apresentaram erro percentual máximo de 3,41%.

Nas figuras 8, 9 e 10, ilustram-se as relações funcionais entre os valores de área superficial de ovos estimados por meio de equações ajustadas neste trabalho ou da literatura em função daquelas estimadas por meio da equação de referência. Para as equações polinomiais, os valores de  $R^2$  variaram de 0,9743 a 0,9917, enquanto que, para a equação que usou as equações polinomiais do ovo, os valores variaram de 0,9717 a 0,9990. Por sua vez, ao se usar as equações propostas pela literatura, os valores de  $R^2$  variaram de 0,9407 a 0,9502.

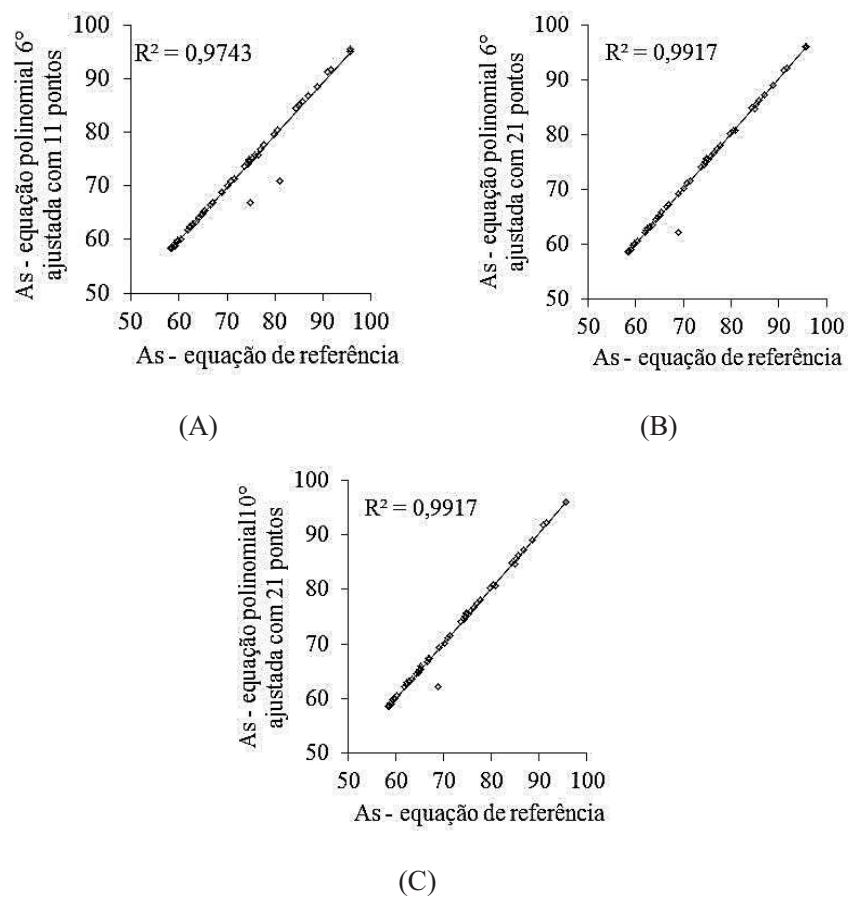


Figura 8 Relação funcional entre as áreas superficiais de ovos estimadas por meio das equações polinomiais de (A) 6º grau ajustada por meio de 11 pontos, (B) 6º grau ajustada por meio de 21 pontos e do (C) 10º ajustada por meio de 21 pontos e as estimadas pela equação polinomial de 6º grau com 12 pontos considerada como referência

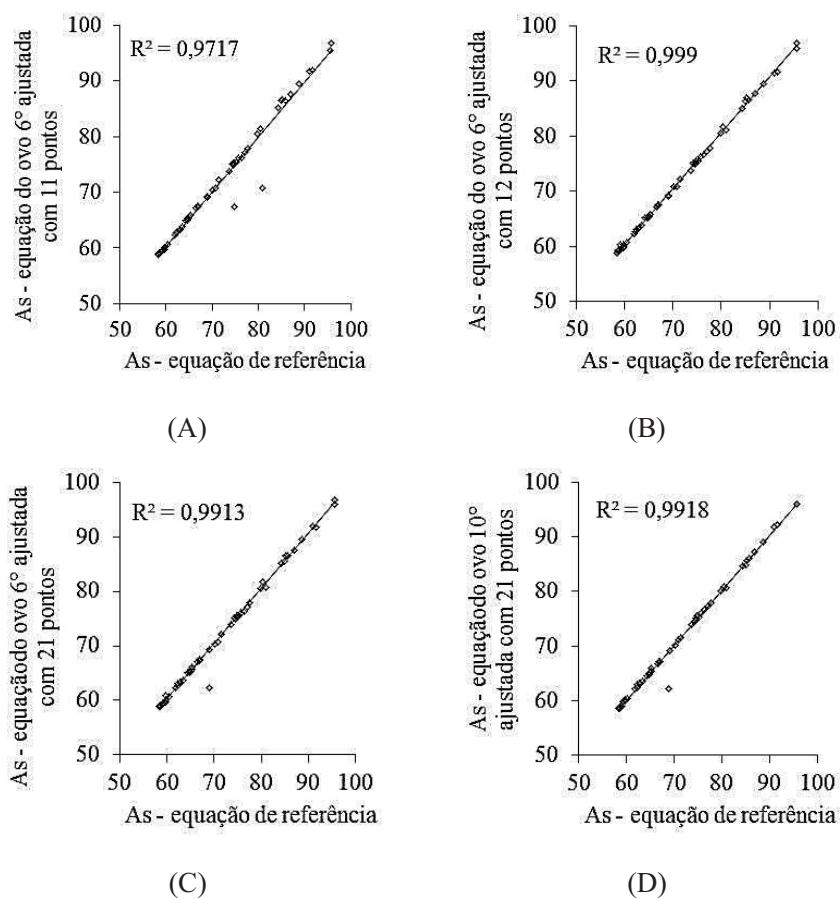


Figura 9 Relação funcional entre as áreas superficiais de ovos estimadas por meio da equação 19 aplicada à equação polinomial de (A) 6º grau ajustada por meio de 11 pontos, (B) 6º grau ajustada por meio de 12 pontos, (C) 6º grau ajustada por meio de 21 pontos e do (C) 10º ajustada por meio de 21 pontos e as estimadas pela equação polinomial de 6º grau com 12 pontos considerada como referência

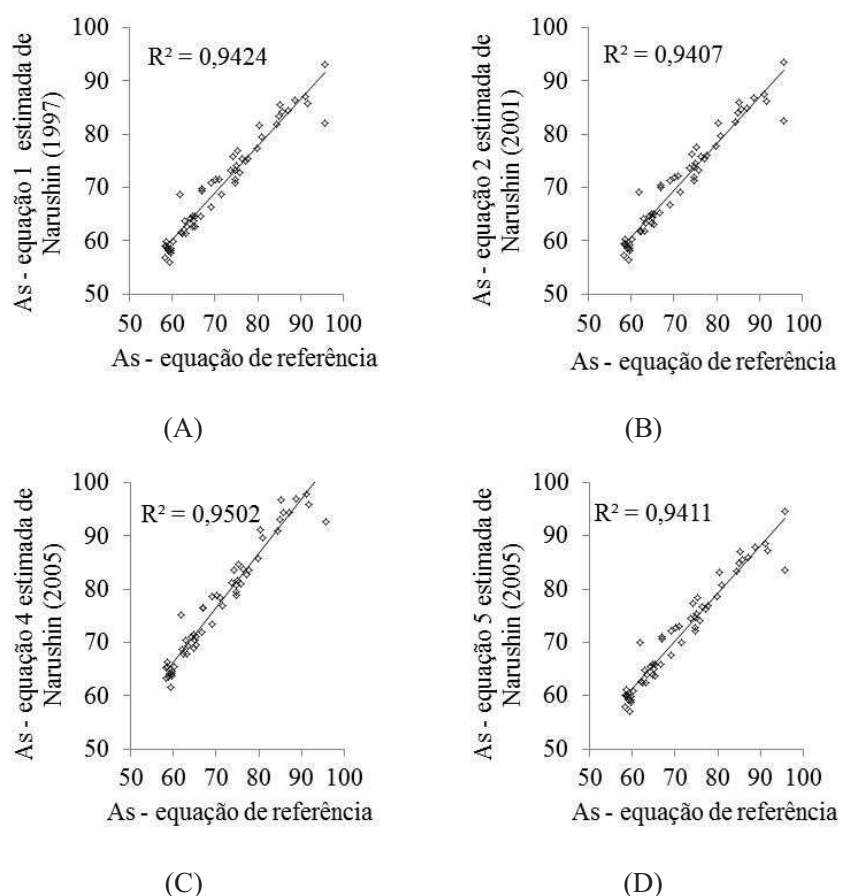


Figura 10 Relação funcional entre as áreas superficiais de ovos estimadas por meio das equações propostas na literatura (A) Equação 2 (NARUSHIN, 1997), (B) Equação 3 (NARUSHIN, 2001), (C) Equação 5 (NARUSHIN, 2005) e (D) Equação 6 (NARUSHIN, 2005) e as estimadas pela equação polinomial de 6° grau com 12 pontos considerada como referência

#### 4.5 Ajuste do volume

Os resultados gerais dos modelos para volume por classificação estão listados na Tabela 5.

Tabela 5 Volume de ovos por classificação de tamanho

Equações	Volume de ovos por classificação de tamanho (cm <sup>3</sup> )											
	Pequeno			Médio			Grande			Jumbo		
	V <sub>med</sub>	σ	EP	V <sub>med</sub>	σ	EP	V <sub>med</sub>	σ	EP	V <sub>med</sub>	σ	EP
Referência (método de imersão)	43	0,6	49	1,1	54	2,7	59	2,2	71	3,0		
Polinômio com 11 pontos 6° grau	42	0,4	0,1	47	0,6	0,2	55	3,4	1,0	61	1,4	0,4
Polinômio com 12 pontos 6° grau	42	0,5	0,1	47	0,6	0,2	55	3,4	1,0	61	1,4	0,4
Polinômio com 21 pontos 6° grau	42	0,4	0,1	48	0,7	0,2	54	3,8	1,1	62	1,3	0,4
Polinômio com 21 pontos 10° grau	42	0,4	0,1	48	0,7	0,2	54	3,8	1,1	62	1,3	0,4
Equação do ovo com 11 pontos 6° grau	43	0,4	0,1	48	0,6	0,2	55	3,4	1,0	62	1,4	0,4
Equação do ovo com 12 pontos 6° grau	43	0,5	0,2	48	0,6	0,2	55	3,4	1,0	62	1,5	0,4
Equação do ovo com 21 pontos 6° grau	43	0,5	0,1	48	0,6	0,2	54	3,8	1,1	62	1,4	0,4
Equação do ovo com 21 pontos 10° grau	43	0,4	0,1	48	0,7	0,2	54	3,8	1,1	62	1,3	0,4
Equação 7 de Narushin 2001	42	0,8	0,2	48	0,8	0,2	54	1,5	0,4	62	1,5	0,5
Equação 8 de Narushin 2005	45	0,8	0,2	50	0,7	0,7	58	1,6	1,6	65	1,8	1,8
Equação 9 de Narushin 2005	50	0,9	0,3	56	0,9	0,3	64	1,7	0,5	72	1,8	0,5
Equação 10 de Narushin 2005	43	0,8	0,2	49	0,8	0,2	56	1,5	0,5	63	1,6	0,5
Equação 11 de Narushin 2001	47	1,7	0,5	55	1,6	0,5	66	3,3	1,0	74	5,5	1,7
Equação 12 de Narushin 1997	41	0,7	0,2	46	0,7	0,2	53	1,4	0,4	60	1,5	0,5

Nota: A<sub>s,medf</sub>: área superficial média do ovo, σ: desvio padrão, EP: erro padrão e, IC: intervalo de confiança.



Para os ovos classificados como pequenos, verificou-se que a equação do ovo aplicada aos dois polinômios de 6º grau e outro com 10º grau, ajustadas com 11, 12 e 21 pares de dados, bem como a equação 10, proposta por Narushin (2005), resultaram em volumes médios idênticos aos calculados pelo método de imersão considerada como referência (43cm<sup>3</sup>). Os desvios padrão e erros padrão máximos foram iguais a 0,5, e 0,2, respectivamente, exceto para a equação 10 de Narushin (2005), cujo valor foi de 0,8 e 0,2. As três equações polinomiais de 6º grau e de 10º grau propostas, neste trabalho, subestimaram, em média, o volume em 1 cm<sup>3</sup>. A equação 8, proposta por Narushin (2005) e a equação 12, proposta por Narushin (1997) superestimou e subestimou o volume de ovos em 2 cm<sup>3</sup>. Por sua vez, a equação 9 proposta por Narushin (2005) e a equação 11 proposta por Narushin (2001) foram as que apresentaram maiores diferenças em relação ao valor adquirido pelo método de imersão considerado como equação de referência, superestimando o volume em 7 cm<sup>3</sup> e 4 cm<sup>3</sup>, respectivamente.

Em relação aos ovos classificados como médios, apenas a equação 10 proposta por Narushin (2005) estimou ao valor médio idêntico àqueles obtidos pelo método de imersão usado como referência. As equações polinomiais de 6º e de 10º grau ajustadas por meio de 21 pares de dados, a equação 19 aplicada a todas as equações polinomiais e a equação 7, proposta por Narushin (2001) subestimaram o volume em 1 cm<sup>3</sup>. Enquanto as equações polinomiais de 6º grau subestimaram o volume em 2 cm<sup>3</sup>, as demais equações apresentaram desvios absolutos maiores que 2 cm<sup>3</sup>, sendo que, a equação que apresentou o maior desvio absoluto (7 cm<sup>3</sup>) foi a equação 9 de Narushin (2005).

No que se refere aos ovos classificados como grandes, as médias das estimativas dos volumes obtidas pelas equações polinomiais de 6º grau e de 10º grau e a equação 19 aplicada aos polinômios de 6º grau e 10º grau, todas ajustadas por meio de 21 pontos, seguidas pela equação 7, usada de Narushin (2001), apresentaram médias idênticas à equação considerada como referência,

pelo método de imersão, sendo que os desvios padrão de 3,8 e os erros padrão apresentaram valores de 1,1, com exceção da equação 7 que se destaca, apresentando médias de 1,5 e 0,4, respectivamente. A equação 12 proposta por Narushin (1997) e a equação 10 proposta por Narushin (2005), subestimou e superestimou o valor do volume do ovo em  $1 \text{ cm}^3$  e  $2 \text{ cm}^3$ , respectivamente. As equações 8, 9 e 11 usadas neste trabalho superestimaram o volume em 4 a  $12 \text{ cm}^3$ .

Para os ovos classificados como extras, todas as equações superestimaram o valor de referência, destacando-se a equação 12 proposta por Narushin (1997) em que a diferença do valor médio estimado em relação à média considerada como referência foi de  $1 \text{ cm}^3$ . Apesar de todas as equações terem superestimado o volume, a diferença entre as equações propostas neste trabalho em função da média considerada como referência variou de 2 a  $3 \text{ cm}^3$ , com os desvios padrão e erros padrão, variando entre 1,3 a 1,5 e 0,4 a 0,5, respectivamente. As demais equações apresentaram desvios absolutos variando de 4 a  $15 \text{ cm}^3$ .

Na classificação de ovos considerados como jumbo, apenas a equação 12, proposta por Narushin (1997), estimou a média pelo método de imersão, considerada como referência. Todas as demais equações superestimaram as médias de volume em relação ao valor adquirido pelo método de imersão considerado como equação de referência, apresentando diferenças variando de  $2 \text{ cm}^3$ , equação 7 proposta por Narushin (2001), a  $28 \text{ cm}^3$ , equação 11 proposta por Narushin (2001), quando comparadas às médias estimadas pelo método de imersão considerado como equação de referência.

Aplicando-se as equações a todas as classificações de tamanho dos ovos, verificou-se que as equações polinomiais de 6º e 10º grau, ajustadas por meio de 21 pontos foram as que apresentaram menores desvios absolutos em relação aos

valores obtidos pelo método de imersão considerada como de referência para as classificações pequenas, médias e extras.

Ressalta-se que, quando se observam erros absolutos, variando de 1 a 3 cm<sup>3</sup> em relação ao valor de referência, obtido experimentalmente, verificaram-se erros da ordem de 1,7 a 6,1% para ovos classificados como pequeno a jumbo, respectivamente.

No geral, pode-se verificar que todas as equações propostas neste trabalho apresentaram valores muito próximos ao experimental, enquanto que, dentre as equações propostas pela literatura, à equação 12 proposta por Narushin (1997) apresentou menores desvios absolutos. Ressalta-se que essas equações apresentam, no geral, resultados similares, entretanto, aquelas ajustadas neste trabalho apresentam menores desvios absolutos para ovos classificados de pequeno a grande e equação 12 apresentam menores desvios absolutos para ovos classificados como grande a jumbo. Essas equações apresentaram intervalos de variação dos erros percentuais por classificação de 0,00 a 4,65, 2,04 a 6,1, 0,00 a 1,85, 1,69 a 5,08 e 0,0 a 8,45 para ovos pequenos, médios, grandes, extras e jumbos, respectivamente.

Castro et al. (2012) ao aplicar a teoria dos conjuntos *fuzzy* para prever o peso de ovos de codornas japonesas obteve erros, variando de 0,17 a 5,68%. Silva et al. (2011), ao recuperar a forma tridimensional de ovos, observaram erros variando de 2,60 a 5,47%. Yanagi Junior et al. (2011), ao estudar a recuperação da forma tridimensional de frangos de corte, por meio da técnica de *moiré* obtiveram valor de erro percentual de 5,18%, ao se comparar os valores obtidos pela técnica de *moiré* em relação a um método experimental. Silva (2007) ajustou uma equação empírica para estimar a área superficial de frangos de corte em função da massa corporal, que resultaram na obtenção de erro percentual médio de 4,68%.

Nas Figuras 11, 12, 13 e 14, ilustram-se as relações funcionais entre os valores de volume de ovos estimados, por meio de equações ajustadas nesta pesquisa ou da literatura em função daquelas estimadas pelo método de imersão considerada como equação de referência. Para as equações polinomiais, os valores de  $R^2$  variaram de 0,7711 a 0,7758, enquanto que, para a equação que usou as equações polinomiais do ovo, os valores variaram de 0,7705 a 0,7758. Por sua vez, ao se usar as equações propostas pela literatura, os valores de  $R^2$  variaram de 0,8287 a 0,8541.

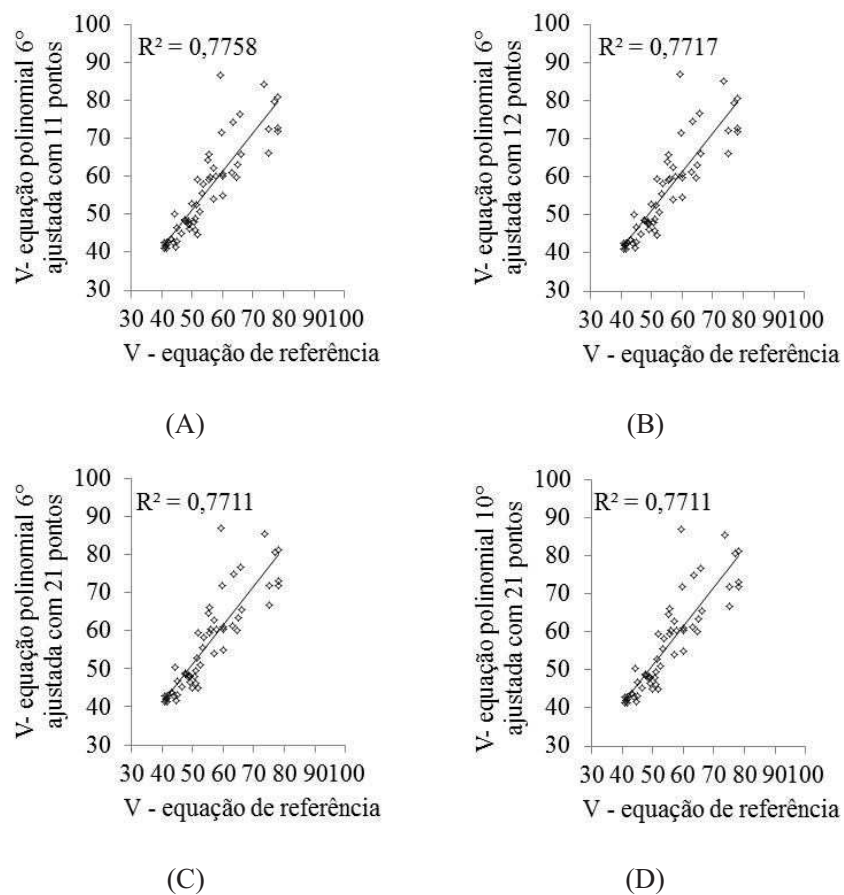
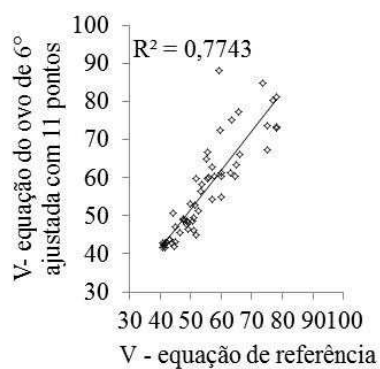
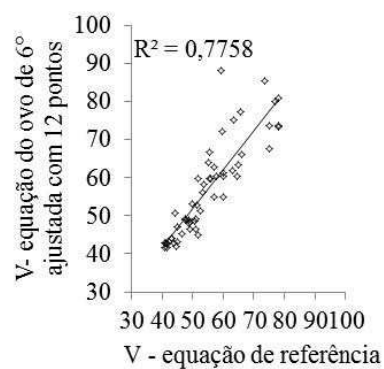


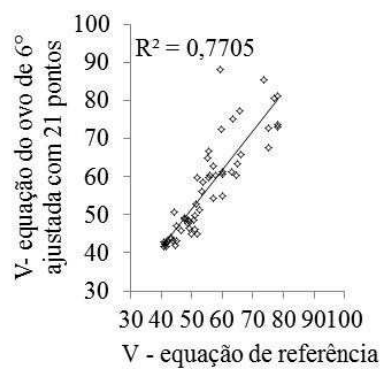
Figura 11 Relação funcional entre os volumes de ovos estimados por meio das equações polinomiais de (A) 6º grau ajustada por meio de 11 pontos, (B) 6º grau ajustada por meio de 12 pontos, (C) 6º grau ajustada por meio de 21 pontos, (D) 10º ajustada por meio de 21 pontos e estimada pelo método de imersão considerada como referência



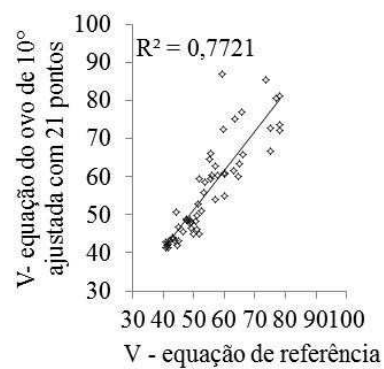
(A)



(B)



(C)



(D)

Figura 12 Relação funcional entre os volumes de ovos estimados por meio da equação do ovo de (A) 6º grau ajustada por meio de 11 pontos, (B) equação do ovo de 6º grau ajustadas por meio de 12 pontos, (C) equação do ovo de 6º ajustadas por meio de 21 pontos, (D) equação do ovo ajustadas por meio de 21 pontos com 10º grau e estimadas pelo método de imersão considerada como referência

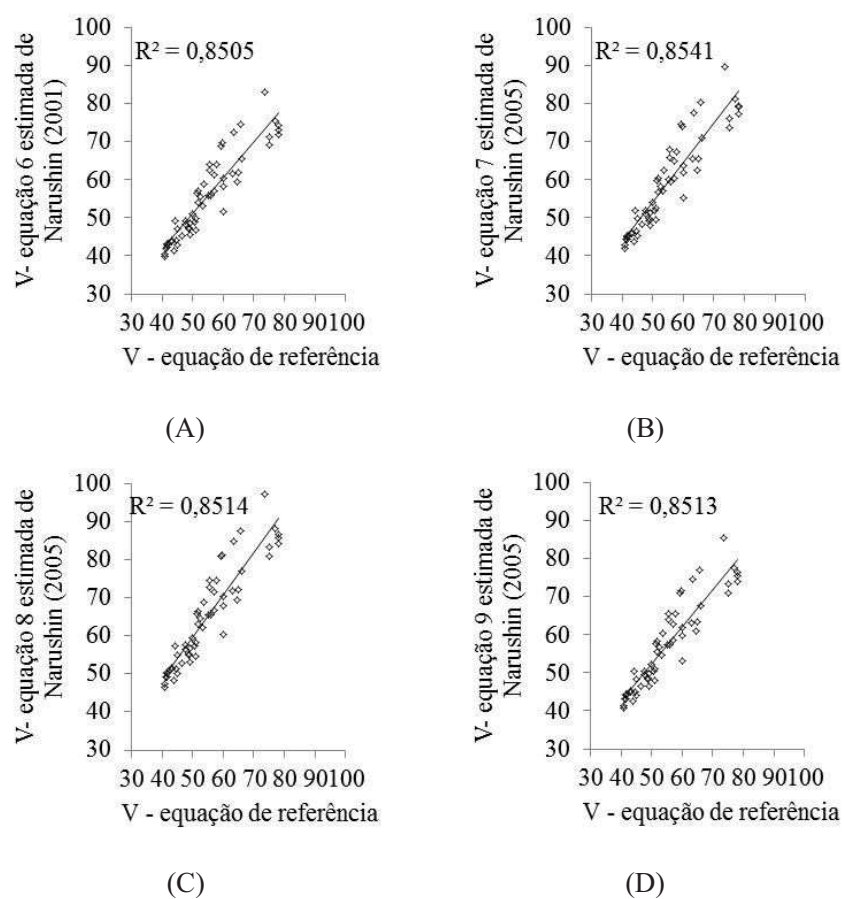


Figura 13 Relação funcional entre os volumes dos ovos estimadas por meio das equações propostas na literatura (A) Equação 7 (NARUSHIN, 2001), (B) Equação 8 (NARUSHIN, 2005), (C) Equação 9 (NARUSHIN, 2005) e (D) Equação 10 (NARUSHIN, 2005) e estimadas pelo método de imersão considerada como referência

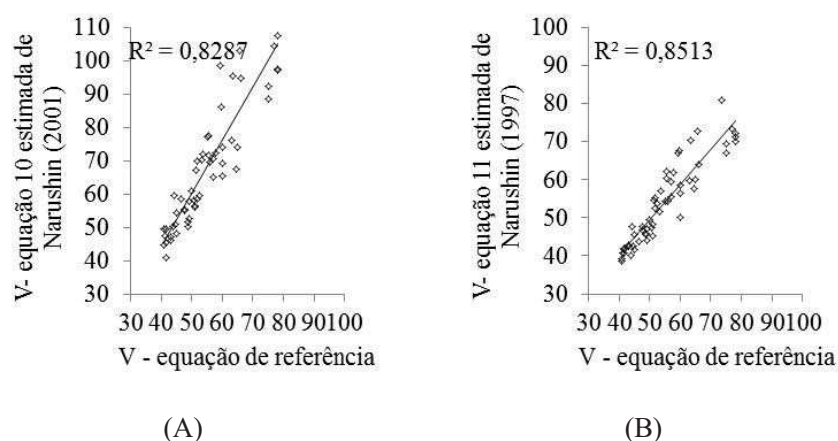


Figura 14 Relação funcional entre o volume dos ovos estimados por meio das equações propostas na literatura (A) Equação 11 (NARUSHIN, 2001), (B) Equação 12 (NARUSHIN, 1997), e estimadas pelo método de imersão considerada como referência

North e Bell (1990), explorando as características da forma do ovo, salientam que o ovo padrão tem que abranger uma área superficial de 68 cm<sup>2</sup> e volume de 63 cm<sup>3</sup>, com peso em torno de 56,7g, valor este que se enquadra dentro da classificação grande descrita pela Resolução 05/91 do CIPOA/MAPA. As equações polinomiais expressas com 11 e 21 pontos de 6<sup>o</sup> grau e 10<sup>o</sup> grau, seguidas pela equação 20 aplicada aos polinômios de 21 pontos de 6<sup>o</sup> grau e 10<sup>o</sup> grau consideradas como a equação do ovo, apresentam uma diferença de área superficial de 1 cm<sup>2</sup>. As equações do ovo expressas com 11 e 12 pontos de 6<sup>o</sup> grau expõem diferença de área superficial de 2 cm<sup>2</sup> a mais do valor considerado como padrão. As equações 2, 3, 5 e 6 descritas na revisão bibliográfica e apresentados na Tabela 4 os seus resultados após serem aplicados nos dados experimentais, mostram diferença de 2 a 9 cm<sup>2</sup>, quando comparados com valor padrão da forma do ovo.

As únicas equações para a determinação do volume que se aproximaram do ovo considerado como padrão, foram as equações 9 e 12 de Narushin (2005,



1997) para a classificação grande, com diferença de 1 e 3 cm<sup>3</sup> em relação ao determinado por North e Bell (1990). No entanto, as equações polinomiais representadas por 11 e 12 pontos com 6<sup>o</sup> grau, listadas na Tabela 5 apresentam diferença de 2 cm<sup>3</sup> em relação ao considerado como ovo perfeito, enquanto que os polinômios com 21 pontos de 6<sup>o</sup> e 10<sup>o</sup> grau, junto com a equação 19 do texto aplicada aos polinômios com 11, 12 e 21 pontos mensurados de 6<sup>o</sup> e 10<sup>o</sup> grau considerados como equação do ovo, acompanhados pela equação 7 de Narushin (2001), apresentam diferença de 1 cm<sup>3</sup>.

Os valores resultantes das equações 8, 9, 10, 11 e 12, listados na Tabela 5, mostram diferenças de 2 a 11 cm<sup>3</sup>, quando comparados com o valor que caracteriza um ovo como padrão.

Outros modelos aplicados à área de ambiência animal ou engenharia rural obtiveram os seguintes valores de R<sup>2</sup> ao se comparar os valores obtidos pelos modelos propostos aos experimentais: 0,668 para estimativa do peso de ovos de codornas japonesas, por meio de modelo *fuzzy* (CASTRO et al., 2012), 0,995 para predição do ganho de peso de frangos de corte de 1 a 21 dias de idade, 0,998 para a simulação do consumo de ração em frangos de corte até 21 dias de idade, 0,976 para predição da conversão alimentar de frangos de corte de 1 a 21 dias de idade (PONCIANO et al., 2012), 0,9893, ao estudar a recuperação da forma tridimensional de frangos de corte por meio da técnica de moiré (YANAGIJUNIOR et al., 2011) e 0,9886, ao ajustar uma equação empírica para a estimativa da área superficial de frangos de corte em função da massa corporal (SILVA,2007).

## 5 CONCLUSÕES

Com base nos resultados alcançados, pode-se concluir que:

- a) Apesar de não haver diferença significativa entre os materiais (água, óleo e semente de painço) usados para a determinação do volume de ovos por meio de imersão, recomenda-se o uso de sementes de painço, pois a mesma apresenta vantagens operacionais em laboratório, possuindo adequado ângulo de repouso;
- b) Todos os modelos para estimativa da área superficial de ovos, propostos neste trabalho e oriundos da literatura, apresentaram valores médios próximos à equação usada como referência (polinomial de 6<sup>o</sup> grau com 12 pontos), para as diversas classificações de tamanho, exceto a equação 5 proposta por Narushin (2005) que apresentou desvios absolutos médios de 4 a 7 cm<sup>2</sup>;
- c) Para a determinação do volume de ovos para todas as classificações de tamanho, apenas as equações 6 (NARUSHIN, 2001) e 11 (NARUSHIN, 1997) apresentaram baixos desvios médios ( $\leq 3$  cm<sup>3</sup>) em relação ao volume medido. Excetuando a classificação jumbo, todas as equações ajustadas neste trabalho podem ser usadas para as demais classificações, tendo em vista que o maior valor de desvio médio foi de 3 cm<sup>3</sup> para o jumbo.

## REFERÊNCIAS

AUTODESK. **Autodesk inventor series: getting started**. San Rafael, 2011. 286p.

CAMPOS, A. T. et al. Eficiência de sistema de aquecimento auxiliar para aviários, com base nos índices de conforto térmico. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 29, n. 3, p. 703-711, maio/jun. 2013.

CARVALHO, L. S. S.; FERNANDES, E. A. Formação e qualidade da casca de ovos de reprodutoras e poedeiras comerciais. **Medicina Veterinária**, Recife, v.7, n.1, p.35-44, 2013.

CASTRO, J.de O. et al. Estimate of the weight of japanese quail eggs through fuzzy sets theory. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 36, n. 1, p. 108-116, jan./fev. 2012.

COLVILLE, T.; BASSERT, J. M. **Anatomia e fisiologia clínica para medicina veterinária**. 2.ed. São Paulo: Elsevier, 2010. 543 p.

GARCIA, S. M. L.; FERNÁNDEZ, C. G. **Embriologia**. 2.ed. São Paulo: Artmed, 2001. 416 p.

HAKASON, L.; PETERS, R. H. **Predictive limnology**. Amsterdam: SPB Academic, 1995. 464 p.

HI-LINE BROWN. **Manual de padrões de desempenho**. Nova Granada, 2011. 18p.

HOFFMANN, G.; VOLKER, H. **Anatomía e fisiología de las aves domésticas**. Zaragoza: Acribia, 1969. 190p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Indicadores IBGE**: estatística da produção pecuária dezembro de 2013. Rio de Janeiro, 2013. 46 p.

IZQUIERDO, F. U. et al. Estimación de la calidad externa del huevo en ponedoras White Leghorn (L33). **Revista de Produção Animal**, Belo Horizonte, v.24, n.2, p. 1-4, 2012.

MEADE, D. **Maple 17**. Columbia: University of South Carolina, 2013. 23 p.

MOHSENIN, N. N. **Physical properties of plant and animal materials**. 2.ed. New York: Gordon and Breach Science, 1970. 742p.

NARUSHIN, V. G. The avian egg: geometrical description and calculation of parameters Institute of Mechanization of Animal Husbandry, O. Khortitsa, Zaporozhye 330017, Ukraine. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London, v. 68, p. 201-205, June 1997.

NARUSHIN, V. G. Egg geometry calculation using the measurements of length and breadth. **Poultry Science**, Savoy, v. 84, n. 3, p. 482-484, Nov. 2005.

NARUSHIN, V. G. New indestructive method of egg parameters and egg shell quality determination. **Tour France**, Paris, v.2, p.217-222, 1993.

NARUSHIN, V.G. Shape geometry of the avian egg. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London, v. 79, n.4, p. 441-448, 2001.

NAVES, M. M. V. et al. Fortificação de alimentos com o pó da casca de ovo como fonte de cálcio. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.27, n. 1, p. 99-103, jan./mar. 2007.

NORTH, M.O.; BELL, D.D. **Commercial chicken production manual**. 4<sup>th</sup>ed. New York: An AVI Book, 1990. 913p.

OLIVEIRA, B.L.; OLIVEIRA, D. **Qualidade e tecnologia de ovos**. Lavras: UFLA, 2013. 224p.

PONCIANO, P. F. et al. Análise do ambiente para frangos por meio da lógica fuzzy: uma revisão. **Archivos de Zootecnia**, Cordoba, v. 60, n. 1, p. 1-13, dic. 2011.

PONCIANO, P. F. et al. Sistema fuzzy para predição do desempenho produtivo de frangos de corte de 1 a 21 dias de idade. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.32, n.3, p. 446-458, mar./abr. 2012.

RONDÓN, E. O. O.; MURAKAMI, A. E.; SAKAGUTI, E.S. Modelagem computacional para produção e pesquisa em avicultura. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, Campinas, v.4, n.1, p. 199-207, jan./mar. 2002.

SILVA, E. **Desenvolvimento e validação de um modelo matemático para o cálculo da área superficial de frangos de corte**. 2007. 59 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

SILVA, G. C. A. E. et al. Recuperação da topografia de ovos por meio da técnica de moiré e calibração independente. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 2, p. 211-218, mar./abr. 2011.

SILVA, M. V. G. **Determinação das dimensões espaciais de corpos sólidos por técnicas ópticas de moiré**. 2011. 95 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.

TRINDADE, J. L.; NASCIMENTO, J. W. B.; FURTADO, D. A. Qualidade do ovo de galinhas poedeiras criadas em galpões no semi-árido paraibano. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.11, n.6, p.652-657, 2007.

UNIÃO BRASILEIRA DE AVICULTURA. **Exportação de ovos cresceu 61,2% em 2012**. Disponível em: <<http://www.ahoradoovo.com.br/no-mundo-do-ovo/noticias/?id=250%7Cexportacao-de-ovos-cresceu-612-em-2012-apontam-numeros-da-ubabef>>. Acesso em: 21 out. 2013.

YANAGI JUNIOR, T. et al. Digital surface area assessment of broiler chickens. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 3, p. 468-476, maio/jun. 2011.