

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP

CAMPUS DE JABOTICABAL

**DESCRIÇÃO DO CRESCIMENTO DO CORPO E
PRINCIPAIS COMPONENTES DE AVES DE POSTURA**

Warley Junior Alves

Zootecnista

2018

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**DESCRIÇÃO DO CRESCIMENTO DO CORPO E
PRINCIPAIS COMPONENTES DE AVES DE POSTURA**

Warley Junior Alves

**Orientador: Prof. Dr. Euclides Braga Malheiros
Coorientadores: Profa. Dra. Nilva Kazue Sakomura
Prof. Dr. Edney Pereira da Silva**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Zootecnia.

Alves, Warley Junior
A474d Descrição do Crescimento do Corpo e Principais Componentes de
Aves de Postura / Warley Junior Alves. – – Jaboticabal, 2018
ii, 58 p. : il. ; 29 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2017
Orientadora: Euclides Braga Malheiros
Co-orientadores: Profa. Dra. Nilva Kazue Sakomura
Prof. Dr. Edney Pereira da Silva
Banca examinadora: Rafael Neme, Silvana Martinez Baraldi Artoni
Bibliografia

1 Composição Química. 2 Curvas de crescimento. 3 Gompertz. I.
Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 636.5

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da
Informação – Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de
Jaboticabal.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: DESCRIÇÃO DO CRESCIMENTO DO CORPO E PRINCIPAIS COMPONENTES DE AVES DE POSTURA

AUTOR: WARLEY JÚNIOR ALVES

ORIENTADOR: EUCLIDES BRAGA MALHEIROS

COORDINADOR: EDNEY PEREIRA DA SILVA

COORDINADORA: NILVA KAZUE SAKOMURA

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em ZOOTECNIA, pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. EUCLIDES BRAGA MALHEIROS
Departamento de Ciências Exatas / FCAV / UNESP - Jaboticabal



Dr. RAFAEL NEME
NUTRIÇÃO E SAÚDE ANIMAL / KEMIN Industries - Ribeirão Preto/SP



Profa. Dra. SILVANA MARTINEZ BARALDI ARTONI
Departamento de Morfologia e Fisiologia Animal / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Jaboticabal, 22 de fevereiro de 2018

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

WARLEY JUNIOR ALVES, filho de Odário Alves Ferreira e Sônia Aparecida Rodrigues Alves, nascido no dia 27 de novembro de 1989 em Lagoa da Prata, Minas Gerais, Brasil. Em 2011 Ingressou no curso de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa na cidade de Viçosa, Minas Gerais, Brasil. Obtendo por esta instituição o título de Bacharel em Zootecnia em Janeiro de 2016. Durante o período de graduação, realizou três iniciações científicas como bolsista, sendo a uma pela Fundação Arthur Bernardes e as outras duas pelo CNPq, sob orientação do Prof. Dr Sergio Luiz de Toledo Barreto. Em março de 2016 iniciou o curso de Mestrado em Zootecnia na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, São Paulo, Brasil sob orientação da Prof. Dr. Euclides Braga Malheiros, sendo contemplado com bolsa de mestrado CAPES. Em fevereiro de 2018, submeteu-se a defesa de dissertação.

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes”.

Marthin Luther King

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela vida, pela força creditada para que eu pudesse buscar sempre o melhor, por ter colocado tantas pessoas maravilhosas ao meu redor. Estas me propiciaram a sonhada experiência de me pós-graduar e obter o título de Mestre em Zootecnia na renomada Universidade Estadual Paulista – UNESP.

Agradeço aos meus pais, Odário Alves Ferreira (*in memoriam*), que se faz presente em minhas orações, ainda que tenha partido antes que eu pudesse ter uma única memória, minha batalhadora mãe, Sônia Alves, que não mediu esforços para criar e educar seus filhos, que sempre me impulsionou a trilhar os caminhos corretos, dando-me todo suporte para que eu pudesse não apenas me graduar, mas também em torna-me um cidadão. Ao meu pai, que não de sangue, mas de coração, Orly Meira, por ter me abraçado como filho e me dado à dádiva de crescer na presença de um pai.

Ao meu orientador nessa jornada, Professor Dr. Euclides Braga Malheiros por toda orientação e paciência, levarei sempre a imagem do senhor como exemplo de orientador. Somente graças a toda ajuda e apoio eu consegui vencer esta etapa.

Ao meu coorientador, Professor Dr. Edney Pereira da Silva, que mais que um orientador foi e continuará sendo um mentor. Nossas discussões sobre os mais diferentes assuntos, científicos, profissionais, entre outros, fizeram-me enxergar com mais clareza meu presente e projetar um futuro próspero e possível.

À Professora Dra. Nilva Kazue Sakomura, sou imensamente grato, não somente pelo suporte à pesquisa e às oportunidades, mas ao crescimento

peçoal a proporcionado. Hoje vejo que por desejar o melhor aos seus orientados, é exigente e firme nos momentos que se fazem necessários, por saber que isso fará com que o melhor de cada um seja alcançado.

À Professora Dra. Silvana Martinez Baraldi Artoni, pelo apoio, incentivo e por nos conceder o uso do equipamento DXA desde o início. À Débora e Juliana que fizeram todo o possível para minhas análises acontecerem.

Aos membros da banca de qualificação, Professora Lizandra Amorozo e o Pós-doutorando, Cléber Mansano, que contribuíram muito na elaboração desta dissertação e em todo decorrer do mestrado.

Aos membros da banca de defesa da dissertação, Dr. Rafael Neme e Professora Dra. Silvana Martinez Baraldi Artoni, pelo aceite e contribuição na melhoria do meu trabalho de Mestrado, auxiliando muito em meu processo de formação.

A todos os funcionários e colaboradores da UNESP, que fazem esta universidade um sinônimo de qualidade. Em especial, agradeço aos funcionários do Laboratório de Ciências Avícolas: Robson, Vicente, Izildo e Renata que se tornaram grandes amigos por tanta experiência transmitida, sem ajuda destes não seria possível muitas das minhas realizações.

Agradeço a FAPESP (temático 2013/25761-4) pelo financiamento das nossas pesquisas. À CAPES pela bolsa a mim contemplada. Às empresas parceiras Evonik e Ajinomoto, pelas análises e aminoácidos doados, viabilizando nossos estudos.

À empresa Hendrix Genetics e seu diretor Marco de Almeida pela doação das pintainhas Dekalb. À Granja Planalto pela doação das pintainhas Lohmann usadas nos estudos de minha dissertação. Em muito se deve à

doação de vocês que o estudo e logo esta dissertação se tornou possível. Em especial agradeço à Tamires Fabli da Hendrix Genetics e ao Roberto Carlos de Moraes da Lohmann que não mediram esforços junto às suas empresas para que esta doação ocorresse, levo para vida meus sinceros e eternos agradecimentos a vocês dois por terem estendido a mão e tanto me ajudado no momento que precisei.

Aos amigos que aqui fiz em Jaboticabal e levarei comigo por toda a vida. Aos companheiros de trabalho que sempre foram um apoio e impulso nos momentos difíceis, mantendo-nos firme rumo ao almejado título. Aos ‘amigos-irmãos’, companheiros de morada, Allan, Claudinha, Wilton, Fred, Hilberto, Jefferson, Rony, Macaé e Eduarda que tiveram o difícil obstáculo da convivência, apesar de tantas diferenças nos tornamos uma família e como em todas as boas famílias.

Aos meus companheiros de pós-graduação no Lavinesp, Karla, Leticia Pacheco, Leticia Soares, Mirella, Palloma, Heloisa, Mariana, Larissa, Fernando, Raian, Vinicius, Rafael e Jefferson. Vocês se tornaram o sinônimo mais perfeito de família, fazendo da salinha de estudos quase um lar. Quantos bons papos, ensinamentos, direcionamentos, discussões, dores e alegrias. Vocês foram a força que me impulsionou do início ao fim, e assim fizeram com que os obstáculos fossem superados, tudo era menos difícil quando estive junto de vocês. Como o seio de toda boa família é a cozinha, quanto produzimos na nossa! “Se produzissem o tanto que comem”.

Aos garotos da graduação, Felipe Fabbri, Felipe Galetti, Bruno, Matheus, Guilherme, Thaisa, Juliana, este experimento só foi realizado graças a toda ajuda de vocês. Creio que me ensinaram mais do que pude contribuir a vocês.

Aos pós-doutorandos Nayara, Thiago, Cleber, Matheus e Gabriel (Macaé), sou muito grato pelos ensinamentos e direcionamentos. Ao Macaé, que esteve comigo desde o primeiro dia da minha graduação, não podia faltar neste momento né?

A Karla, que já no início se tornou minha maior companheira nesta jornada, sabia me acalmar nos momentos difíceis e acordar em todos os outros, nem me vejo caminhando sem você do meu lado e dói saber que seguiremos caminhos diferentes agora.

Ao melhor amigo que Deus me deu em Viçosa, companheiro de todos os momentos, parceiro para vida, Matheus. Esta criança feliz e inocente pouco mais alto que altos normais, mesmo nestes dois anos que passei em Jaboticabal a 800 km, permaneceu sempre comigo. Sempre será mais que apenas um amigo.

Guardo um agradecimento especial a você, Camila, umas das pessoas mais especiais que tive o prazer de conhecer, uma mulher frágil e forte ao mesmo tempo e determinada sempre. Houve momentos que não saberia como seguir se não fosse você. Uma amiga que soube me dar apoio e direcionamento, e cobrar nos momentos que foi preciso.

É difícil agradecer a todos que de alguma forma, nos momentos serenos ou apreensivos, fizeram ou fazem parte da minha trajetória, me apoiaram, impulsionaram, por isso agradeço a todos de coração.

SUMÁRIO

Certificado da Comissão de Ética No Uso de Animais (CEUA).....	ii
CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	5
1. INTRODUÇÃO	5
2. REVISÃO DE LITERATURA	7
2.1. Descrição do crescimento de aves	7
2.2 Modelo Gompertz na descrição do crescimento	8
2.3 Avaliação da composição corporal de aves	12
2.4 DXA, uma breve descrição	14
2.5 Como os tecidos são quantificados pelo Dxa	16
2.6 Curvas de Calibração	18
2.7 Precisão da técnica	19
2.8 DXA versus análise química	20
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	23
CAPÍTULO 2 – DESCRIÇÃO DO CRESCIMENTO DO CORPO E PRINCIPAIS COMPONENTES DE AVES DE POSTURA.....	28
1. INTRODUCTION	30
2. MATERIAL AND METHODS	31
2.1 Animal care and use	31
2.2 Bird husbandry, experimental design, and diets	31
2.3 <i>In vivo</i> measurements of hen growth and body chemical composition ...	32
2.4 Analytical procedures.....	35
2.5 Equations to predict body composition in vivo	36
2.6 Evaluation of the equations.....	37
2.7 Estimates of growth and chemical components parameters.....	37
3. RESULTS.....	38
3.1 Body weight and body composition	38
3.2 Equations to predict the in vivo chemical components of the body	39
3.3 Description of pullet growth and body chemical composition.....	40
3.4 Feather growth and chemical composition.....	45
4. DISCUSSION	48
4.1 DXA vs. chemical analysis: pullet growth and body chemical composition	48
4.2 Growth and chemical composition parameters of feather-free body and feather.....	51
5. CONCLUSION	54
6. REFERENCIAS.....	54
ANEXO 1 - Body composition values estimated by DXA and by chemical analysis.	58

Certificado da Comissão de Ética No Uso de Animais (CEUA)



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Câmpus de Jaboticabal

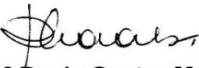


CEUA – COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS

CERTIFICADO

Certificamos que o Protocolo nº 9999/14 do trabalho de pesquisa intitulado **"Modelagem da produção e das exigências nutricionais de aves e peixes - Avaliação da composição corporal por técnicas invasiva e não invasiva"**, sob a responsabilidade da Prof.^a Dr.^a Nilva Kazue Sakomura está de acordo com os Princípios Éticos na Experimentação Animal adotado pelo Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal (CONCEA) e foi aprovado pela COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS (CEUA), em reunião ordinária de 07 de julho de 2014.

Jaboticabal, 07 de julho de 2014.


Prof.^a Dr.^a Paola Castro Moraes
Coordenadora – CEUA

DESCRIÇÃO DO CRESCIMENTO DO CORPO E PRINCIPAIS COMPONENTES DE AVES DE AVES DE POSTURA

RESUMO - A eficácia de um programa nutricional depende do conhecimento a respeito do potencial genético de crescimento da ave, por ser esta a forma racional de calcular as exigências nutricionais e prever o consumo de alimento. Neste sentido, os modelos fatoriais integrados às curvas de crescimento de aves auxilia no estabelecimento ou avaliação de programas alimentares específicos. Por serem modelos dinâmicos, possibilitam calcular a ingestão de acordo com o padrão de crescimento da linhagem ao longo do tempo. Tradicionalmente, a avaliação da composição corporal é feita por abate comparativo que impossibilita o acesso rápido às informações e inviabiliza o estudo das variações das características estudadas no decorrer do tempo no mesmo animal. Uma alternativa é a técnica de absorciometria por duplo feixe de raios-X (DXA) que permite avaliar *in vivo* a composição corporal das aves em tempo real sem a necessidade de sacrificá-la, conciliando interesses sociais e científicos. Com base nisso, objetivou-se neste trabalho descrever o potencial de crescimento do corpo e componentes corporais de poedeiras Dekalb e Lohmann (White e Brown) meio da função Gompertz, com a composição corporal tomado pela técnica DXA nas mesmas aves no decorrer do crescimento. Foram utilizadas 360 poedeiras das linhagens Lohmann e Dekalb distribuídas em delineamento inteiramente ao acaso, com quatro tratamentos (linhagens) e seis repetições com 15 aves. As aves foram alojadas em galpão experimental dotado de gaiolas em sistema piramidal, controle de temperatura automatizado, comedouro tipo calha e bebedouro *nipple*. O programa alimentar adotado foi *ad libitum* composto por cinco dietas segundo a idade formuladas de forma a atender as exigências nutricionais das linhagens, garantindo que não houvesse nenhum nutriente limitante. Para descrição do crescimento uma ave por unidade experimental foi tomada aleatoriamente, identificada, e avaliadas do 1º ao 126º dia de idade, nas idades 1, 14, 28, 56, 70, 77, 84, 98, 112 e 126 dias, foram escaneadas para estimar o conteúdo mineral ósseo, tecido magro e gordo, por meio da absorciometria por duplo feixe de Raios X (DXA), usando modelo Hologic-QDR®. Concomitantemente,

fez-se um estudo para relacionar dados de composição obtidos pelo DXA e por análise química do corpo livre de penas (CLP). Esses dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), sendo constatadas diferenças na quantificação da composição corporal pelas diferentes técnicas. Devido à essas diferenças, foram ajustadas regressões para cada componente químico do corpo, assim foram gerados equações de correção dos dados obtidos pelo DXA em referencia ao método químico, usando para isso aves Dekalb Brown, seguindo as mesmas idades e procedimentos do estudo de crescimento. A função Gompertz foi utilizada para descrever o crescimento do corpo e componentes químicos para cada linhagem. A mensuração da composição corporal nas mesmas aves ao longo do tempo pelo DXA auxiliou na redução do erro na avaliação do crescimento de poedeiras. As linhagens avaliadas neste estudo apresentaram diferenças no crescimento do corpo, penas e componentes entre se. E os parâmetros de crescimento aqui descritos condizem com os encontrados na literatura, e auxiliará no aperfeiçoamento de modelos de calculo de exigências nutricionais, melhorando a eficácia de programas alimentares.

Palavras-chave: Dekalb, Lohmann, Densitometro, Gompertz, curvas de crescimento

DESCRIPTION OF THE BODY GROWTH AND MAIN COMPONENTS IN LAYING HENS

ABSTRACT - The efficacy of a nutritional program depends on knowledge about the bird's genetic potential for growth, since this is the rational way of calculating nutritional requirements and predicting food consumption. In this sense, the factorial models integrated the growth curves of birds assists in the establishment or evaluation of specific food programs. Because they are dynamic models, they make it possible to calculate the feed intake according to the growth pattern of the lineage over time. Traditionally the evaluation of the body composition is made by comparative slaughter, impossibility the quick access to the information and to study the variations of the characteristics studied in the course of time in the same animal. An alternative is the X-ray absorptiometry technique (DXA) that allows in vivo evaluation of the body composition of the birds without the need to sacrifice them reconciling social and scientific interests. Based on this, the objective of this work was to describe the growth potential of the body and body components of laying hens Dekalb and Lohmann (White and Brown) through of the Gompertz function, with the body composition taken by the DXA technique in the same birds during the growth. A total of 360 laying hens of the Lohmann and Dekalb strains were used in a completely randomized design, with four treatments (strains) and six replicates of 15 birds. The birds were housed in experimental shed with cages in pyramidal system and with automated temperature control. Diets were provides ad libitum and composed of five diets according to age formulated to meet the nutritional requirements of the strains, ensuring that there was no

limiting nutrient. To describe the growth, one bird per experimental unit was randomly identified and evaluated from 1 to 126 days of age. In the ages 0, 14, 28, 56, 70, 77, 84, 98, 112 and 126 days, birds were scanned to estimate bone mineral content, lean and fat tissue by means of dual beam X-ray absorptiometry (DXA) using Hologic-QDR® model. At the same time, a study was performed to correlate composition data obtained by DXA and by chemical analysis of the feather free body (FFB). These data were submitted to analysis of variance (ANOVA), being verified differences in the quantification of the body composition by the different techniques. Due to these differences, regressions were adjusted for each chemical component of the body, thus generating correction equations of the data obtained by DXA in reference to the chemical method, using Dekalb Brown birds, following the same ages and procedures of the growth study. The Gompertz function was used to describe the growth of the body and chemical components for each strain. The measurement of body composition in the same birds over time by DXA assisted in the reduction of error in the evaluation of the growth of laying hens. The strains evaluated in this study showed differences in body growth, feathers and components among themselves. And the growth parameters described here are consistent with those found in the literature, and will aid in the improvement of models for calculating nutritional requirements, improving the effectiveness of feeding programs.

Keywords: Dekalb, Densitometer, Gompertz, growth curves, Lohmann

CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

1. INTRODUÇÃO

A ave de postura utilizada na avicultura industrial passa por contínuo melhoramento para atender as demandas de eficiência produtiva, conformação corporal. Emmans em 1981 propôs que a predição do consumo de alimentos pode ser feita com base no crescimento dos componentes químicos corporais. De forma recíproca, permite predizer o crescimento e composição a partir do consumo do animal. Como exemplo deste conceito, para um animal em crescimento mantido em ambiente termicamente neutro, sua exigência energética é a soma das demandas para a manutenção, deposição de proteína e lipídios (EMMANS, 1997).

Informações como taxas de maturação dos componentes químicos do corpo (água, minerais, proteína e gordura), peso proteico na maturidade, composição na maturidade (relação gordura: proteína) são indicadores para caracterizar diferentes espécies e linhagens de animais domésticos (EMMANS e KYRIAZAKIS, 1995; GOUS et al., 1999). Esses parâmetros ainda são utilizados para calcular o consumo de dieta ideal do animal, exigência de energia e de aminoácidos, necessários para expressar o potencial genético (EMMANS, 1989; MARTIN et al., 1994).

Desta forma, a precisão na mensuração da composição química do corpo e das penas em aves é imprescindível para o desenvolvimento de modelos de predição e simulação do crescimento, da mesma maneira que essa informação tem sido utilizada como referencial para estabelecer as exigências nutricionais (WILLIAMS et al., 1954; HURWITZ e BORNSTEIN, 1973) e sobretudo as penas que apesar de desprenderem-se do corpo, representam ao

longo da vida das aves uma síntese de proteína que não é degradada, e sendo portanto o contrário da maioria das proteínas do corpo.

Neste sentido, o procedimento de análises químicas tem sido utilizado rotineiramente para determinar a composição corporal, entanto é um método destrutivo impossibilita o acesso rápido às informações, além de inviabilizar o estudo de um mesmo indivíduo no decorrer do tempo (SALAS et al., 2012). Como alternativa, tem-se o método de absorciometria por duplo feixe de raios-X (DXA), que por ser um método não destrutivo, possibilita avaliação *in vivo* da composição corporal de um mesmo indivíduo ao longo do tempo, por meio de escaneamentos sequenciais (SCHOLZ et al., 2015). Com o uso desta técnica é possível determinar os diferentes tecidos que compõem o corpo dos animais tais como: gordura, massa mineral óssea e magra (Black et al., 2001; SCHREIWEIS et al., 2005; MERCIER et al., 2006).

No entanto, para certificar que os parâmetros determinados com o equipamento DXA obtidos a partir de aves vivas estão em equivalência com o usual, mas bem reconhecido método de análises químicas é necessário realizar uma comparação dos valores baseados nos dois métodos. (MITCHEL et al., 1997; BLACK et al., 2001).

Com base no exposto, objetivou-se com este estudo estimar os parâmetros de crescimento do corpo, das penas e dos componentes químicos de aves de postura White e Brown das linhagens Lohmann e Dekalb em crescimento *in vivo* tomadas dos mesmos animais durante o período de estudo, e obter equações para prever a composição química corporal das aves *in vivo* tomadas pela DXA, tendo como referência ao método de análise química.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Descrição do crescimento de aves

Do nascimento à maturidade, várias modificações ocorrem no corpo do animal. Após a eclosão, vísceras, estrutura óssea e as penas têm maior desenvolvimento em relação aos outros tecidos. Após cinco semanas de idade os músculos e, por último, os órgãos reprodutivos (SILVA et al., 2015a). Assim, a cada dia muda a proporção dos tecidos no corpo, e estes fenômenos afetam diretamente a composição química corporal do animal durante o crescimento. Dessa forma, a modelagem matemática desse fenômeno auxilia na previsão de mudanças na conformação corporal com o avançar da idade (EMMANS, 1987; MARTIN et al., 1994; HANCOCK et al., 1995).

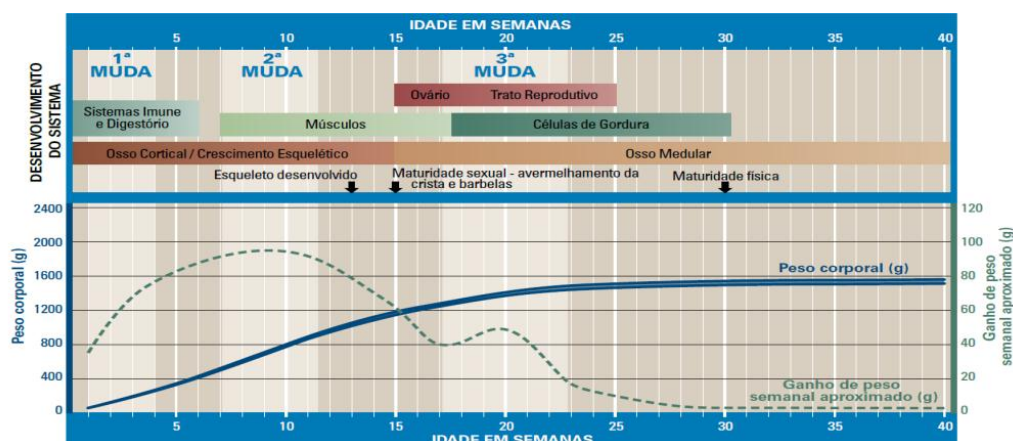


Figura 1 Desenvolvimento do corpo e principais sistemas segundo o manual de manejo da linhagem Hy-Line (2016).

O crescimento corporal pode ser descrito como incrementos contínuos no tamanho/peso corporal em função do tempo do nascimento à maturidade. O crescimento em função do peso vivo caracteriza a idade fisiológica das aves através de mudanças nas taxas de deposição de proteína, gordura, água e matéria mineral, pré-determinados pelo potencial genético de crescimento e

cessa o crescimento quando atinge o seu tamanho a maturidade (EMMANS, 1981; EMMANS, 1987).

A relação do peso corporal com a idade pode ser descrita por vários modelos matemáticos que apresentam bons ajustes, e a escolha de qual adotar por um critério estatístico é difícil (SILVEIRA et al., 2011), tendo neste caso, que basear-se em pelo menos três critérios: possibilidade de interpretação biológica dos parâmetros, qualidade do ajuste aos dados descritos e dificuldades na sua elaboração (FITZHUGH JR., 1976). Em outras palavras, o modelo tem que ser facilmente aplicável, possua parâmetros que representem fenômenos com significado biológico, tal como os parâmetros B e t^* do Modelo de Gompertz que representam respectivamente taxa de crescimento e idade onde o crescimento é máximo. E ainda, que seja capaz de descrever todas as variações ocorridas no crescimento durante o período descrito.

2.2 Modelo Gompertz na descrição do crescimento

O Modelo de Gompertz (GOMPERTZ, 1825), dentre os citados, é o mais utilizado. Este modelo possui parâmetros com significado biológico que permitem interpretações e aplicações práticas (WINSOR, 1932; EMMANS, 1989) e econômicas (TALPAZ et al., 1986; 1988; 1991). Para Freitas et al. (1983), a função Gompertz é a mais adequada para aves. Knizevotá et al. (1991) afirma que esta função permite o ajuste dos dados como peso do corpo de forma semelhante a funções de crescimento mais complexas, e ainda possibilita o cálculo da taxa de crescimento e deposição dos componentes corporais (penas, gordura, proteína, matéria mineral, água), que auxiliam na definição de relações alométricas entre esses componentes.

Dois pressupostos são feitos na definição da composição química do genótipo. A primeira é que a proteína do corpo, a água, os lipídios e a matéria mineral possuem taxas de crescimento potenciais que são descritos pela função de Gompertz, a segunda é que os indivíduos de um mesmo genótipo possuem o mesmo parâmetro de taxa de crescimento (B) para cada um desses componentes do corpo. Há boas evidências que sugerem que essas duas premissas podem ser válidas (EMMANS, 1989).

Para verificar a coerência dos parâmetros de crescimento, a simples relação do peso do componente na maturidade (C_m) pelo peso corporal na maturidade (P_m) revela a composição química corporal no momento da avaliação. Alguns estudos de composição descrevem com precisão o conjunto de dados, entretanto, a simples relação C_m/P_m pode revelar valores não condizentes, sobretudo para teor de lipídio e proteína no corpo que são os principais componentes corporais usados na determinam as exigências nutricionais de energia e aminoácidos (NEME et al., 2006; BUTERI et al., 2009).

A função Gompertz permite várias interpretações sobre o perfil de crescimento do animal e os componentes químicos apenas com os valores dos parâmetros peso na maturidade (P_m), taxa de maturidade (B) e idade em que a taxa de crescimento é máxima (t^*). A equação é dada por:

$$P_t = P_m \times e^{(-e^{(-B \times (t - t^*))})}, \quad \text{Eq. [1]}$$

onde P_t = peso estimado (g) do animal ao tempo t (dias); P_m = peso (g) à maturidade; B é taxa de maturidade por dia; t é idade da ave (dia); t^* é idade em que a taxa de crescimento é máxima - ponto de inflexão (dia); e é a base numérica de Euler.

A taxa de maturidade (B) pode ser estimada ($B^* = B \times P_m^{0,27}$) de acordo com o peso na maturidade (P_m), resultando no valor aqui dominado B^* . O valor deste parâmetro é o primeiro indicativo da possibilidade do uso de alometria para estudar o crescimento de partes físicas e/ou dos componentes químicos. Em aves, os valores de B para penas é 1.4 vezes o valor do corpo depenado (MARTIN et al., 1994; HANCOCK et al, 1995). Esta diferença na taxa de maturidade de penas e do corpo justifica o estudo separado dos seus componentes em um modelo fatorial.

Basicamente os parâmetros P_m e B são suficientes para descrever o padrão de crescimento da linhagem. A estimativa da taxa de crescimento (dP/dt), ganho de peso, deposição de proteína, lipídeos, água e matéria mineral, pode ser feita conforme a equação 2.

$$dP/dt \text{ (/dia)} = B \times P_t \times \ln(P_m/P_t), \quad \text{Eq. [2]}$$

As razões de estimar com precisão o ganho de peso são as mesmas que justificam a predição do peso de água, lipídios e matéria mineral (EMMANS e KYRIAZAKIS, 1995). Uma forma prática para esta estimativa tem sido o procedimento de alometria não isométrica que consiste da combinação de equações alométricas (Eq. 3) com parâmetros da função Gompertz.

$$\ln C_q = a + b \ln PP, \quad \text{Eq. [3]}$$

Onde a e b são coeficientes da relação linear entre o $\ln$ do componente químico (C_q) água, lipídio e matéria mineral em função do $\ln$ peso proteico (PP). A opção de se utilizar a proteína corporal como variável regressora deve-se ao fato de ser um componente químico estritamente relacionado com o potencial genético do animal.

O dC/dPP representa relação entre o componente água, lipídios e cinza com o peso de proteína. O ganho em peso é obtido pelo somatório da deposição de proteína, lipídio, água e matéria mineral. Desta forma, a taxa de crescimento do componente em função do tempo (dC/dt) pode ser obtida a partir da taxa de crescimento da proteína (dP/dt , Eq. 2), conforme descreve a equação 4 (MARTIN et al., 1994; FERGUSON, 1996).

$$dC/dt = dC/dP \times dP/dt, \quad \text{Eq. [4]}$$

Uma decomposição da Eq. 4 resulta na forma integrada dos conceitos matemáticos mencionados anteriormente, conhecido como relação alométrica não isométrica (Eq.5).

$$C/dt = [PPt \times B \times \ln(1/u)] \times [1 + (Z_a \times b_a \times u^c_a) + (Z_l \times b_l \times u^c_l) + (Z_{mm} \times b_{mm} \times u^c_{mm})], \quad \text{Eq. [5]}$$

em que, dC/dt é a taxa de crescimento (k/dia); PPt é o peso proteico no tempo t ; B é a taxa de maturidade; u é o grau de maturidade (Pt/PPm) em que PPm é peso proteico na maturidade, Z_a , Z_l e Z_{mm} são os índices que representam a relação na maturidade entre Cm/PPm para água, lipídio e matéria mineral, respectivamente, obtidos pela Eq. 1; c_a , c_l e c_{mm} são os coeficientes alométricos da relação do $\ln Cq$ em função de $\ln PP$ ou $\ln u$, obtidos na Eq. 3.

A predição do potencial de crescimento é dependente do grau de maturidade, da relação entre os componentes na maturidade, das constantes alométricas, do B e do PPm do peso proteico. Portanto, a predição do potencial pode ser corrigida em “tempo real”, caso ocorra restrição ao crescimento decorrente de fatores como nutrição ou ambiente, atualizando apenas o valor de B , conforme a equação descrita $B^* = B \times Pm^{0,27}$.

De acordo com Emmans e Fisher (1986), o índice da relação na maturidade entre Cm/PPm (Z - Eq.5) para lipídio varia entre as espécies, mas são semelhantes dentro de variedades de uma mesma linhagem (Martin *et al.*, (1994). Espera-se que as espécies tenham diferenças no Pm dos componentes água e matéria mineral, no entanto, espera-se para Z_a e Z_{mm} valores próximos a 2,9 e 0,2, respectivamente. De acordo com Emmans (1997) esses valores são sugeridos para todas as espécies de aves de produção (EMMANS e KYRIAZAKIS, 1995).

2.3 Avaliação da composição corporal de aves

A composição corporal é afetada não somente pela idade e características fenotípicas, mas também através do uso de dietas e programas de alimentação. Assim sendo, a análise da composição corporal é vital quando se avalia a nutrição do animal-, devido à capacidade de alguns ingredientes alterarem a composição corporal das aves. Por exemplo, uma dieta de baixa proteína suplementada com aminoácidos cristalinos, aumenta o nitrogênio retido e melhora a eficiência alimentar (BREGENDAHL *et al.*, 2002).

Comumente em estudos de determinação de exigências nutricionais e de modelos de crescimento e composição corporal, utiliza-se o abate comparativo e o sistema de análise proximal (análises bromatológicas). Neste método há a necessidade de sacrificar o animal para determinar quimicamente seu conteúdo de proteína, gordura, cinza e água (SAKOMURA e ROSTAGNO, 2016), e mesmo amplamente aplicado, é passível de diversas fontes de variação, como erro de amostragens ou execução de algum procedimento analítico. Neste sentido, Silva *et al.* (2016) identificaram que o método de amostragem das aves com base na média da unidade experimental, retiradas

da parcela experimental semanalmente para serem abatidas, apresenta um fator de erro em ensaios de longa duração, ocasionando heterocedasticidade de variância, como por exemplo, em estudo com poedeiras comerciais até 18 semanas de idade, as retiradas semanais das aves com peso próximo a média do grupo reduz a homogeneidade da unidade experimental.

Outro problema deste método é a variação nas estimativas de composição química decorrente de erros inerentes ao método e de erros na execução da análise. Desta forma, há confundimento na interpretação da variação entre o que é biológico e o que é metodológico. Silva et al. (2016) explicaram que, do ponto de vista biológico não são completamente aceitos alguns tipos de variações na composição corporal. Exemplificando para proteína, os autores salientaram que o teor de proteína pode aumentar numa semana e reduzir na seguinte, para esta variação, os autores atribuíram ao método, por não ser possível aceitar que uma ave saudável, criada em regime *ad libitum* possa utilizar de sua proteína corporal. Uma alternativa para esta variação é medir *in vivo* as mudanças na composição química da ave ao longo do tempo, o que só é possível com uso de técnicas não destrutivas. Técnicas de análise da composição *in vivo* também possibilitam a realização de estudos das variações nas características estudadas no decorrer do crescimento no mesmo animal. (PEARCE et al., 2009).

Um método não destrutivo alternativo ao método químico, a absorciometria de raio-X de dupla energia (DXA) tem a vantagem de possibilitar que a mesma ave possa ser estudada ao longo do tempo, sem prejuízo a sua saúde ou o desempenho animal. Tem ainda a vantagem do curto tempo de escaneamento em comparação com o tempo investido na

preparação de uma amostra para a análise química, dando ao pesquisador a versatilidade de avaliar a composição corporal de mais aves.

Esta tecnologia tem a capacidade de determinar a composição corporal, medindo a atenuação dos raios-x de dois diferentes níveis de energia, por materiais diferentes, tais como gordura, a massa mineral óssea e magra (Black et al, 2001. Mercier et al, 2006; Schreiweis et al, 2005). Destaca-se que esse equipamento só pode realizar análises de composição corporal em animais quando for estabelecido o modelo matemático padrão para ajuste da correspondência entre os valores obtidos no DXA com os valores determinados em análise química corporal.

2.4 DXA, uma breve descrição

Raios-X são ondas eletromagnéticas invisíveis a olho nu que têm a capacidade de atravessar madeira, metal, corpo humano produzindo fenômenos fluorescentes na chapa fotográfica. Estas ondas são geradas pela transferência de elétrons orbitando o núcleo atômico de camada eletrônica mais externa para outra de menor energia, liberando a diferença de energia na forma de raios-X (MÜNSTERBERG, 1896).

A absorciometria de raios-X de dupla energia (DXA) evoluiu de uma técnica similar conhecido como absorciometria de fótons de dupla energia (DPA) utilizada por cerca de quinze anos para estimar a composição do osso e dos tecidos moles (SCHOLZ et al., 2015). Nesta técnica uma fonte de radionuclídeo (geralmente gadolínio-153) é utilizada para gerar os raios gama. Contudo a DPA tem um limitante quanto ao tempo de análise, demorando cerca de 20-30 minutos para digitalizar um cão (RAFFAN, 2006). Para reduzir o tempo de varredura e aumentar a resolução no DXA à fonte de radionuclídeo

foi substituída por um tubo de raios-X de baixa corrente que permite que seja gerado um fluxo de fótons muito maior.

A capacidade de estimar o teor mineral ósseo corporal total e composição de tecidos moles do corpo não é uma exclusividade do DXA, há outros equipamentos com esta finalidade, tais como tomógrafos. Cada tipo de equipamento possui um sistema que utiliza uma fonte que gera raios-X em duas energias, um detector e uma interface com um sistema computacional que gera e interpreta as imagens digitalizadas. A atenuação diferencial das duas energias é utilizada na determinação da composição corporal.

Na análise, o animal fica deitado em uma mesa onde é digitalizado em linha reta, da cabeça aos pés. A fonte de raios-X fica situada em um compartimento abaixo da mesa de digitalização, e os raios-X não absorvidos ou desviados são quantificados por um detector localizado acima da mesa e do animal. As medidas costumam levar de 3 a 20 minutos dependendo do tipo de digitalização, parte do corpo escaneada e do software selecionado para a formação da imagem digitalizada (LASKEY e PHIL,1995; SCHOLZ et al., 2015).

Atualmente têm-se três fabricantes comerciais de DXA: Lunar, Hologic, e Norland, que possuem diferenças técnicas. Os instrumentos Hologic, como o utilizado na presente pesquisa produzem dois feixes de energia, alta e baixa, através de um sistema de impulso de comutação que alterna rapidamente a tensão do gerador de raios-X. Um detector situado no braço de varrimento acima do paciente mede sequencialmente os raios-X atenuados que tenham passado através da ave. Uma roda interna corrige pequenas flutuações causadas por este método de geração de feixe.

Nos sistemas Lunar e Norland, raios-X são produzidos por um gerador com potencial constante de raios-X e o feixe é dividido em regiões de alta e de baixa energia por um filtro de borda K. Os raios-X atenuados que passaram pelos tecidos são medidos por um detector discriminatório de energia. Em todos os três sistemas, a atenuação diferencial de dois níveis de energias é utilizada para estimar o teor de matéria mineral do osso e a composição do tecido mole. A atenuação de raios-X por um tecido depende da massa e da composição do tecido (LASKEY e PHIL,1995).

Independente do fabricante, a dose de radiação emitida pelo equipamento varia entre instrumentos e modos de varredura, mas normalmente a exposição á essa radiação nos tecidos é muito baixa (para paciente e operador) não representado riscos à saúde. No entanto, mesmo para animais maiores que demandam maior tempo de varredura, a exposição à radiação emitida pelo aparelho em todo o exame é menor que a dose de radiação de um equipamento normal de raio-X que avalia somente a composição óssea - (LASKEY e PHIL, 1995; SCHOLZ et al., 2015).

2.5 Como os tecidos são quantificados pelo Dxa

Os elementos básicos que compõem o corpo (água, matéria mineral, lipídios e proteínas) são redistribuídos pelo software do DXA em dois modelos com dois componentes cada. No primeiro modelo é estimado o pixel de massa gorda, analisando uma região onde não há tecido ósseo, e o restante desta região analisada é considerado como massa magra. No segundo modelo é separado o conteúdo mineral ósseo dos demais elementos, denominados tecido macio. O software combina as informações dos dois modelos de dois componentes para criar um modelo de três componentes. Esta interpolação é

necessária, pois em pixel ósseo o software calcula a massa de tecido macio, mas não é capaz de diferenciá-la em massa gorda ou magra. Para diferenciá-las, o software usa como referência o pixel de tecido macio mais próximo do pixel ósseo e supõe que a composição da massa macia do segundo seja igual ao do primeiro. (SILVA, 2015b)

O processo pelo qual a DXA diferencia os tecidos corporais se dá por meio da transposição dos fótons de energia pelos tecidos ósseos e moles de cada indivíduo, até atingir o detector. Tal processo baseia-se na diferente atenuação dos raios-X entre os tecidos ósseos e moles. A partir da diferenciação de atenuação dos tecidos, é formada uma imagem dos contornos do corpo e dos tecidos. Em seguida, um software, que apresenta variações de acordo com o fabricante, quantifica e localiza os diferentes componentes corporais (LASKEY e PHIL,1995; SCHOLZ et al., 2015).

Em teoria, quando duas energias de raios-X são usadas, apenas dois componentes do tecido podem ser determinados. Portanto, o primeiro corpo deve ser considerado como um sistema de dois componentes contendo apenas mineral do osso e do tecido mole de composição homogênea. As duas energias do feixe não atenuado inicial e as duas energias de feixe de fótons atenuada emergente, depois de passar através do tecido, são utilizados para resolver as equações para as quantidades de osso e dos tecidos moles no caminho do feixe.

No computador acoplado ao DXA, há informações sobre atenuação dos pixels em tecidos mole sem tecido ósseo e do tecido mole e osso. Quando o tecido livre de osso é analisado, a razão entre a atenuação das duas energias é linearmente relacionada com a percentagem de gordura no tecido mole. A

composição do tecido, em regiões onde é detectado osso só pode ser extrapolada a partir das regiões circundantes que contenham apenas tecido mole. Assim, o mineral do osso, gordura, e massas sem gordura são construídos pela aquisição de dados repetidos ao longo do comprimento da digitalização. Em um sujeito médio, cerca de um terço de todos os pixels são sobre o osso e dois terços são excesso de tecido mole (LASKEY e PHIL, 1995).

2.6 Curvas de Calibração

A comparação direta de dados obtidos em análise química de composição corporal com os dados determinados pelo DXA não é possível por de estimarem componentes diferentes, em que no DXA é estimada massa magra, massa gorda e componente mineral do corpo além da massa total. Na análise química são estimados os teores de proteína, extrato etéreo, cinzas, matéria seca (logo água) e a massa corporal por pesagem em balança. Mitchell et al. (1997) realizaram um estudo com poedeiras e verificaram a necessidade de obter valores de referencia a partir de análises químicas para desenvolver equações de predição com os dados da varredura para massa magra, gordura e composição corporal mineral. Isto permitiu previsões mais precisas de massa magra, massa gorda e composição mineral corporal. Contudo, Swennen et al., (2004) mencionam que equações de predição são estritamente limitadas ao instrumento, versão de software e metodologia onde foram geradas. Consequentemente, para um novo instrumento ou um novo software é necessário o desenvolvimento de novas equações.

Além da precisão do instrumento; precisão na técnica também é essencial. É importante ser capaz de reproduzir os mesmos resultados em

medições repetidas (ZOTTI et al.2003) e o posicionamento do animal que está sendo digitalizado pode ter um impacto nos valores obtidos.

O DXA é particularmente susceptível ao posicionamento do animal, porque converte uma estrutura tridimensional em uma imagem bidimensional. Assim, o posicionamento correto do animal a ser digitalizado é obrigatório para obter medições precisas. Alguns ensaios indicam não haver diferenças em posições de digitalização (Swennen et al., 2004), enquanto outros mostram alguma evidência, o que indica a posição é um fato importante a considerar (RAFFAN et al., 2006). Existem vários trabalhos sobre o uso de DXA para composição corporal em animais, pois a validação é exclusiva para cada software e aparelho, não podendo assim utilizar a calibração de um aparelho em outro.

2.7 Precisão da técnica

Salas et al. (2012) encontraram correlação positiva entre as medidas obtidas pelo DXA e resultados de análise química em frangos da linhagem Cobb 500. Brunton et al. (1993) também relataram correlação entre peso corporal e a massa determinada no DXA em leitões. Estes trabalhos demonstram que a tecnologia empregada no DXA tem a capacidade de medir com precisão a massa corporal total. No entanto Swennen et al. (2004) e Mitchell et al. (1997) observaram superestimação de massa corporal de frangos pelo DXA.

Foi relatado por Salas et al. (2012) alta correlação entre o tecido adiposo estimado pelo DXA e resultados obtidos pela análise de extrato etéreo, com uma superestimava geral de tecido adiposo pelo scanner. De forma semelhante, Swennen et al. (2004) constataram alto coeficiente de correlação

entre o tecido de gordura avaliado pelo DXA e medições químicas de gordura sem efeito do tamanho do corpo da galinha na precisão da análise.

Alta correlação entre valores de conteúdo mineral ósseo registrados por DXA e matéria mineral do corpo de frangos de corte foi descrito por SALAS et al. (2012). Schreiweis et al. (2005) observaram correlação entre o conteúdo mineral ósseo das pernas de poedeiras vivas medido pelo DXA com o de matéria mineral de ossos extirpados. Correlações positivas entre teor de matéria mineral descritas por análises químicas e DXA BMC também foram relatados em frangos, suínos até 6 kg, gatos, cães e pés de galinha abatidas (BRUNTON et al, 1993;. SPEAKMAN et al, 2001;. SWENNEN et al., 2004). Em contraste com os estes trabalhos, Mitchell et al. (1997) encontraram baixa correlação entre a conteúdo mineral ósseo DXA e matéria mineral corpo.

2.8 DXA versus análise química

Como visto anteriormente, os modelos matemáticos da DXA redistribuem os seis principais componentes corporais (lipídeos, água, proteína, carboidratos, minerais não ósseos e minerais ósseos) em três componentes (conteúdo mineral ósseo, massa gorda e massa magra). No entanto, os métodos tradicionais de análise química também não são utilizados para medir esses seis componentes, uma vez que os níveis corporais de carboidratos são normalmente baixos, e os teores de minerais ósseos e não ósseos não são distinguidos (NIELSEN, 1973).

A relação entre os seis principais componentes corporais, a análise química e os resultados DXA é detalhada na Tabela 1. A primeira coluna mostra os seis elementos que compõem o corpo, na segunda e a terceira

colunas mostram como os seis componentes são redistribuídos segundos a técnica DXA e análises químicas. Essa analogia ajuda a explicar parte da dificuldade no uso da DXA como ferramenta para predizer algum constituinte químico, em especial proteínas (MITCHELL et al., 1998). A dificuldade na estimação da proteína pode se originar de duas condições: (1) a forma como a análise química quantifica o teor de proteína - relação da primeira com a segunda coluna; e (2) a forma como o DXA quantifica a proteína - relação da primeira com a terceira coluna.

Tabela 1 – Relação entre componentes corporais determinados pelo DXA e análises químicas

Componentes Corporais	Análise Química	DXA
Lipídeos	Extrato etéreo	Massa gorda
Água	Água	Massa magra
Proteína	Nitrogênio	Massa magra
Carboidratos	Nitrogênio	Massa magra
Minerais não ósseos	Matéria mineral	Massa magra
Minerais ósseos	Matéria mineral	Componente mineral ósseo

Fonte: Adaptado de Pietrobelli et al. (1996) e St-onge et al. (2004)

A primeira condição que afeta a precisão da DXA na estimação das proteínas é a forma como é determinada por análise química. No método químico determina-se o conteúdo proteico através da mensuração do nível de nitrogênio total da amostra. No entanto, nem todo o nitrogênio é proteico, sendo que alguma porção dele pode ser proveniente de carboidratos, ácidos nucleicos ou frações inorgânicas (EMMANS e KYRIAZAKIS, 1997). Como forma de contornar essa falta de especificidade do nitrogênio total, foi proposto um fator de correção para proteína animal de 6,25. Isso significa que, para

cada 100 g de proteína animal, existem 16g de nitrogênio proteico (NIELSEN, 1973).

No DXA, a variável que está relacionada com as proteínas é a massa magra. No entanto, dentro deste último elemento também estão incluídos os carboidratos, os minerais não ósseos e a água (PIETROBELLI et al., 1996). Destes três componentes, os dois primeiros representam apenas pequeno percentual da massa total. No entanto, a água é um fator com grande representação (EMMANS e KYRIAZAKIS, 1997). A grande importância da água neste cenário é que ela não apresenta uma constância em volume relativo, sendo que seu valor reduz ao longo do período de crescimento e maturidade do animal (WANG et al., 1999). Uma vez que a maioria dos estudos de composição corporal *in vivo* é feito para avaliar animais ainda jovens, o percentual de água (que está contido dentro de massa magra do DXA) pode ser uma fonte importante de viés na estimativa da proteína.

Apesar de parte da matéria mineral determinada quimicamente estar contida na massa magra do DXA, a comparação do conteúdo mineral ósseo e da matéria mineral é simples, pois a proporção de minerais não ósseos é relativamente constante em tecido não ósseo. A composição da matéria seca do tecido magro dissecado pode variar dependendo do tipo de animal, mas geralmente fica em torno de 78% proteína, 20% matéria mineral e o restante sendo carboidrato (NIELSEN, 1973). Por isso, se for considerado que a matéria mineral permanece razoavelmente constante dentro de um genótipo e que a proporção de minerais não ósseos também é constante, então uma simples relação percentual poderia ajudar na obtenção de seus valores. Um fator de transformação de 0,15 foi proposto para a obtenção do conteúdo mineral não

ósseo em função da matéria mineral (JEBB et al., 1995). No entanto, em condições de desbalanço mineral da dieta, essa relação pode não ser constante, pois o nível de minerais ósseos pode variar (RYAN et al., 2011). Nesta condição de desbalanço, a obtenção do valor de minerais não ósseos fica comprometida. Por isso, a calibração de modelos de ajuste para transformar medidas DXA em matéria mineral é importante para condições não convencionais de mineralização óssea.

As pressuposições utilizadas pela DXA em relação aos ossos também devem ser salientadas, uma vez que a tecnologia não foi desenvolvida para avaliar a composição interna do osso. Assim, o teor de gordura da medula óssea é considerado constante entre 4 a 5%, com exceção do crânio onde a composição é de 17% é devido ao alto teor de lipídios no sistema nervoso central (HOLOGIC, 1996). No entanto, esses valores são dependentes da marca comercial do equipamento. Esta pressuposição pode ser considerada como um importante viés na comparação dos métodos, uma vez que a análise química considera o conteúdo real de lipídios, enquanto que o método DXA meramente extrapola o conteúdo para as condições humanas.

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BUTERI, C.B., TAVERNARI, F.C., LELIS G. R., ROSTAGNO, H.S., ALBINO L.F.T. Effects of different nutritional plans on broiler performance. **Revista Brasileira de Ciência Avícola** 11, 225-234, 2009.

BLACK, A.; TILMONT, E. M.; BAER, D.J.; RUMPLER, W.V.; INGRAM, D.K.; ROTH, G.S.; LANE, M.A. Accuracy and precision of dual-energy X-ray absorptiometry for body composition measurements in rhesus monkeys. **Journal of Medical Primatology**, v.30, p.94-99, 2001.

BREGENDAHL, K.; SELL, J. L.; ZIMMERMAN, D.R. Effect of low-protein diets on growth performance and body composition of broiler chicks. **International Journal of Poultry Science**, v. 81, p.1156-1167, 2002.

BRUNTON, J.A.; BAYLEY, H.S.; Atkinson, S.A. Validation and application of dual energy x-ray absorptiometry to measure bone mass and body composition in small infants. **American Journal of Clinical Nutrition**, v.58, p.839-845, 1993.

EMMANS, G.C. A method to predict the food intake of domestic animals from birth to maturity as a function of time. **Journal of Theoretical Biology**, p.189-200 1997.

EMMANS, G.C.; KYRIAZAKIS, I. A general method for predicting the weight of water in the empty bodies of pigs. **Animal Science**, v.61, p.103-108, 1995.

EMMANS, G.C. (1989). The growth of turkeys. In: NIXEY, C. G., T.C. (ed.) Recent Advances in Turkey Science. **Poultry Science Symposium**, London, Butterworths, p. 135-166.

EMMANS, G.C. Growth, body composition and feed intake. **World's Poultry Science Journal**, v.43, p.208-227, 1987.

EMMANS, G.C.; FISHER, C. Problems in nutritional theory. In: FISHER, C.; BOORMAN, K.N., (ed.) **Nutrient requirements of poultry and nutritional research**, London, Butterworths, p.9-39, 1986.

EMMANS, G. C. (1981). A model of the growth and feed intake of ad libitum fed animals, particularly poultry. In: Hillyer, G. M. W., C.T.; Gunn, R.G (ed.) **Computers Animal Production. British Society of Animal Production**, Edinburgh, pp. 106-110.

FERGUSON, N. S. A description of the genotype of pigs using simulation modelling. Doctoral Thesis - University of Natal. 1996 163f.; .

FITZHUGH JR., H.A. Analysis of growth curves and strategies for altering their shape. **Journal of Animal Science**, v.42, n.4, p.1036-1051, 1976.

GOMPERTZ, B. On the nature of the function expressive of the law of human mortality, and on a new mode of determining the value of life contingencie. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, v.115, p.513-583, 1825.

GOUS, R.M. *et al.* Evaluation of the parameters needed to describe the overall growth, the chemical growth, and the growth of feathers and breast muscles of broilers. **Poultry Science**, v.78, p. 812-821, 1999.

HANCOCK, C.E. *et al.* The evaluation of the growth parameters of six strains of commercial broiler chickens. **British Poultry Science**, v.36, p.247-264, 1995.

HURWITZ, S.; BORNSTEIN, S. The Protein and Amino Acid Requirements of Laying Hens: Suggested Models for Calculation. **Poultry Science**, v.52, p.1124-1134, 1973.

MARTIN, P. A. *et al.* A formal method of determining the dietary amino acid requirements of laying-type pullets during their growing period. **British Poultry Science**, v.35, p.709-724, 1994.

LASKEY, M. A., and D. PHIL. 1995. Dual-Energy X-ray absorptiometry and body composition. **Nutrition**, Vol. 12, No. 1, 1995.

MERCIER, J.; POMAR, C.; MARCOUX, M.; GOULET, F.; THÉRIAULT, M.; CASTONGUAY, F.W. The use of dual-energy X-ray absorptiometry to estimate the dissected composition of lamb carcasses. **Meat Science**, v.73, p. 249- 257, 2006.

MITCHELL, A. D.; ROSEBROUGH, R.W.; CONWAY, J.M. Body composition analysis of chickens by dual energy X-ray absorptiometry. **International Journal of Poultry Science**, v.76, p.1746-1752, 1997.

MITCHELL, A. D.; SCHOLZ, A. M.; CONWAY, J. M. Body composition analysis of small pigs by dual-energy x-ray absorptiometry. **Journal of Animal Science**, v. 76, p. 2392-2398, 1998.

MÜNSTERBERG, H. **The X-Rays**, v.3, n. 57, p.161-163, 1896.

NEME, R. *et al.* Curvas de crescimento e de deposição dos componentes corporais em aves de postura de diferentes linhagens. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, p.1091-1100, 2006.

PEARCE, K.L. *et al.* Dual X-ray absorptiometry accurately predicts carcass composition from live sheep and chemical composition of live and dead sheep. **Meat Science**, v.81, n.1, p.285–293, 2009.

PIETROBELLI, A.; FORMICA, C.; WANG, Z. AND HEYMSFIELD, S. B. 1996. Dual-energy X-ray absorptiometry body composition model: review of physical concepts. *American Journal of Physiology - Endocrinology and Metabolism* 271:E941-E951.

SAKOMURA, N.K.; ROSTAGNO, H.S. **Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos**. Jaboticabal: Funep, 2016, 283p.

SALAS, C. *et al.* Determination of Chicken Body Composition Measured by Dual Energy X Ray Absorptiometry. **International Journal of Poultry Science**, v.11, n.7, p. 462-468, 2012.

SCHOLZ, A. M., BÜNGER, L. KONGSRO, J., BAULAIN, U., MITCHELL, A. D. Non-invasive methods for the determination of body and carcass composition in livestock: dual-energy X-ray absorptiometry, computed tomography, magnetic resonance imaging and ultrasound: invited review, **Animal**, v9,nº 7, p 1250-1264, 2015. doi: 10.1017/S1751731115000336

SCHREIWEIS, M.A.; ORBAN, J.I.; LEDUR, M.C.; MOODY, D.E.; HESTER, P.Y. Validation of Dual-Energy X-Ray Absorptiometry in Live White Leghorns. **International Journal of Poultry Science**, v.84, p.91-9, 2005.

SILVA, E.P. *et al.* (em fase de publicação-2018). Modelo de Reading para estimar as exigências aminoacídicas de aves. **Ciência Rural**.

SILVA, E.P.; SAKOMURA, N.K.; DORIGAN, J.C.P.; MALHEIROS, E.B.; PERUZZI, N.J. Adjustment of growth parameters for the major body components of pullets. **Revista Ciência Agronômica**, v.47, p.1-11, 2016.

SILVA, E.P.; MALHEIROS, E.B.; SAKOMURA, N.K.; VENTURINI, K.S.; HAUSCHILD, L.; DORIGAN, J.C.P.; FERNANDES, J. B. K. Lysine requirements of laying hens. **Livestock Science**, p.69-77, 2015a.

SILVA, J. H. V. *et al.* (2012). Exigências nutricionais de codornas. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, 13, 3, p.775-790b.

SILVEIRA, F. G. *et al.* Análise de agrupamento na seleção de modelos de regressão não-lineares para curvas de crescimento de ovinos cruzados. **Ciência Rural**, v.41, p. 692-698, 2011.

St-Onge, M.-P., Z. M. Wang, M. N. Horlick, J. Wang, and S. B. Heymsfield. 2004. Dual-energy X-ray absorptiometry lean soft tissue hydration: independent contributions of intra- and extracellular water. **American Journal of Physiology - Endocrinology and Metabolism** 287:E842-E847.

SWENNEN, Q.; JANSSENS, G.P.J.; GEERS, R.; DECUYPERE, E.; BUYSE, J. Validation of Dual- Energy X-ray absorptiometry for determining *In vivo* body composition of chickens. In: **International Journal of Poultry Science**, v.83, p.1348-1357, 2004.

TALPAZ, H. *et al.* Economic Optimization of a Growth Trajectory for Broilers. **American Journal of Agricultural Economics**, v.70, p.382-390, 1988.

TALPAZ, H. *et al.* Dynamic optimization model for feeding of broilers. **Agricultural Systems**, v.20, p. 121-132, 1986.

TALPAZ, H. *et al.* Modeling of the dynamics of accelerated growth following feed restriction in chicks. **Agricultural Systems**, v.36, p.125-135, 1991.

WILLIAMS, H. H. *et al.* Estimation of growth requirements for amino acids by assay of the carcass. **Journal of Biological Chemistry**, v.208, p.277-286, 1954

WINSOR, C. P. The Gompertz Curve as a Growth Curve. **Proceedings of the National Academy of Sciences** v.18, p.1-8, 1932.

ZOTTI, A.; CHIERICATO, C.R.G.; BERNARDINI, D. Accuracy and precision of dual-energy X-ray absorptiometry for ex vivo determination of mineral content in turkey poult bones. **Veterinary Radiology & Ultrasound**. v.44, p. 49-52, 2003.

CAPÍTULO 2 – DESCRIÇÃO DO CRESCIMENTO DO CORPO E PRINCIPAIS COMPONENTES DE AVES DE POSTURA

Este capítulo é apresentado de acordo com as normas da revista
Animal Production Science

Description of growth of the main body components of pullets

Abstract: In order to describe the growth potential and body chemical composition using the Gompertz function, a total of 360 one-day-old commercial pullets of four different strains (Dekalb White and Brown and Lohmann White and Brown) (90 pullets/strain) were allotted in stainless steel cages in environmentally controlled room from 1 to 18 weeks of age. Hens were provided water and a unique diet (mash form) throughout 18 weeks and in 15-d-intervals six pullets from each strain had the body composition measured until 18 weeks of age using DXA method. Concomitantly to the DXA measurements, a group of pullets were euthanized and had their body and feather chemical composition determined in order to devise equation to correlate DXA measurements with body chemical composition. Feather composition was determined using chemical analysis. Analyzing the same pullet throughout the aforementioned period using DXA method allowed reducing the error in the prediction of bird growth. The genetic strains assessed in the current research exhibited few differences regarding body and feather growth and their bodily chemical components. The growth parameters described herein are in accordance with those described in literature. With the accurate description of genetic growth rate potential, the amount of nutrient required for maintenance purposes and growth may be predicted through the association of growth curves with factorial models.

Keywords: body monitoring, Dekalb, Densitometer, Gompertz, growth curves, Lohmann.

1. INTRODUCTION

From birth to maturity, the animal body constantly changes. After hatching, viscera, bone structure, and feathers have a faster development in contrast to other tissues. After five weeks, the body growth of the bird is determined by muscle tissue, followed by development of reproductive organs (Silva et al., 2015). In this sense, the proportion of the tissues of the body changes daily, as well as the chemical composition.

Modelling the changes cited above, is a step forward to predict the body's changes according to age (Emmans, 1987; Martin et al., 1994; Hancock et al., 1995; Silva et al., 2015). Among models proposed to predict the growth of birds, the Gompertz function (1825) reparametrized by Emmans (1981) is often used. The simplicity of the Gompertz function and the biological meaning of the parameters, i.e. age at maximum growth (t^*), growth ratio (B), and maturity weight (W_m), give reasonable reasons for the preference in use this model (Lewis et al, 2002).

In order to describe the changes on chemical components of the body, Emmans (1986) suggest a consecutive sampling of birds raised in non-limiting conditions of environment and nutrition (Martin et al., 1994; Neme et al., 2006). However, to determine the chemical components of the body it's necessary slaughter the bird, which allow to analyze the amount of protein, water, fat, and ash. Thus, in each age a different bird is analyzed. Some problems derive from this procedure: because it is a destructive method it does not allow to access information quickly, besides making it impossible to study the same individual over time. The weekly slaughter of birds with mean body weight of the experimental unit in long-term trials, such as commercial laying hens, 18 weeks, can cause heteroscedasticity of variance (Silva et al. 2016). Another problem is the variation in chemical composition due to the different birds sampled in the slaughter

series, and this may confuse the interpretation of the variation between what is biological and what is methodological (Silva et al. 2016).

According to Gonçalves et al. (2018 - in press), a viable alternative for this variation is to measure in vivo changes in the chemical composition of the bird over time, which is only possible with the use of non - destructive techniques such as DXA. This method allows evaluating the variations in the characteristics of body composition of the same individual through sequential scans (Scholz et al. 2015). The first step to apply this technique is to develop equations that relate the DXA results to those of chemical analysis, thus obtaining the true chemical composition values of the animal.

Based on the foregoing, the objective of this study was to estimate the growth parameters of the body, feathers and chemical components of laying hens Lohmann and Dekalb strains, white and brown, evaluating the same animals throughout the growing period. Furthermore, elaborate equations to predict the body chemical composition of laying hens measured in DXA.

2. MATERIAL AND METHODS

2.1 Animal care and use

All the procedures adopted in this study involving animal care and use were approved by the institutional Ethics Committee on Animal Use of Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP – Univ Estadual Paulista, Jaboticabal Campus in Sao Paulo, Brazil, under protocol no. 9999/14.

2.2 Bird husbandry, experimental design, and diets

A total of one-day-old 360 commercial layer pullets of four different strains (Dekalb and Lohmann White and Brown) were housed in an environmentally controlled room (90 hens/genetic strain). The 90 hens from each strain were randomly assigned to

six replicate cages (50 cm length x 50 cm width x 30 cm height) of 15 hens. Throughout 18 weeks, food (mash form) and water were provided *ad libitum*. For the first six weeks, lighting and heat were daily provided for 24h by infrared lamps. From sixth to tenth week, light was gradually reduced up to 12L:12D and maintained until 18 weeks of age. A four-phase feeding program were adopted, in which diets were formulated to meet or exceed the recommendations of genetic strain guidelines in the pre-starter (1 to 21 days), starter (22 to 42 days), grower I (43 to 84 days), grower II (85 to 105 days), and pre-egg laying phase (106 to 126 days) as detailed in Table 1.

2.3 *In vivo* measurements of hen growth and body chemical composition

In order to describe hen body chemical composition, one hen from each experimental unit was randomly selected had its body composition measured by DXA method from the first to the 126th day of age in 15-d-intervals (0, 14, 28, 56, 70, 77, 84, 98, 112 and 126 d of age). At the day of *in vivo* measurements, hens were weighed and digitized to have the body analyzed for bone mineral content, lean and fat tissue by DXA. At the same time, one bird per experimental unit were randomly collected, euthanized using carbon dioxide to evaluate the feather growth and its chemical composition. Among all birds collected for chemical analysis, Dekalb Brown hen were also used to measure the correlation between the *in vivo* body composition analyzed by the DXA and the traditional chemical analysis of the feather-free body (FFB).

The collected data in each 15-d-intervals regarding body weight, feather weight, and FFB were used to estimate growth parameters. The chemical composition data of the FFB were correlated to DXA data to correct the bias of the latter method in predicting chemical component weights *in vivo* (protein weight, water weight, mineral weight and fat weight). Based on the equations generated, the weights of the chemical

components were predicted, which in turn allowed obtaining Gompertz growth parameters of the chemical components of the FFB based on *in vivo* measurements of the same individual. Feather growth parameters were estimated based on chemical analysis data based on the assumption that the DXA method does not allow obtaining results from feather scanning (Mitchell et al. 2011).

Table 1 Ingredients and nutritional composition of diets

Ingredients g/kg	Age (Days)				
	0-21	22-42	43-84	85-105	106-126
Corn (7.88%)	578.5	580.9	650.0	650.0	644.3
Wheat Bran-Midds	50.0	50.0	32.9	50.0	0.0
Soybean Meal	300.0	300.0	261.0	244.2	246.2
Soybean Oil	28.0	27.8	14.9	16.7	27.9
Dicalcium Phosphate	20.8	20.2	19.8	18.4	21.3
Limestone	9.9	10.2	10.9	11.9	49.9
NaCl	3.5	3.3	3.0	3.0	3.0
NaHCO ₃	1.0	1.0	1.4	1.8	1.8
Mineral vitamin	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
DL-Met (99%)	2.1	2.1	1.8	1.1	2.0
L-Lys (54.6%)	2.9	1.6	1.4	0.0	0.6
L-Thr (98%)	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0
Choline Chloride	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Total	1000	1000	1000	1000	1000
Nutrients					
CP (g/kg)	193	192	177	170	164
AMEn (kcal/kg)	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000
Ca (g/kg)	10.0	10.0	10.0	10.0	25.0
Pd (g/kg)	5.0	4.9	4.7	4.5	4.8
Na (g/kg)	1.8	1.7	1.7	1.8	1.8
K (g/kg)	7.9	7.9	7.2	7.1	6.6
Cl (g/kg)	2.8	2.7	2.5	2.5	2.5
Lys (g/kg)	10.5	9.8	8.8	7.7	7.8
Met (g/kg)	4.8	5.5	4.7	4.2	4.3
Met+Cys (g/kg)	7.4	7.4	6.7	5.9	6.6
Thr (g/kg)	6.9	6.5	6.0	5.8	5.6
Trp(g/kg)	2.2	2.1	1.9	1.9	1.8
Arg (g/kg)	14.2	14.2	13.4	13.0	12.6
Ile (g/kg)	7.2	7.3	6.6	6.4	6.2
Leu (g/kg)	15.0	15.1	14.3	13.9	13.6
His (g/kg)	4.7	4.6	4.3	4.2	4.1
Val (g/kg)	7.9	10.0	8.6	9.1	6.8

¹ Content/kg of diet: Mn = 150.000 mg. Fe = 100.000 mg. Zn = 100.000 mg. Cu= 16.000 mg. I = 1.500 mg. Folic acid = 1000 mg. pantothenic acid = 15.000 mg. Niacin = 40.000 mg. Biotin = 60 mg. vit B1 = 1.800 mg. vit. B12 = 12.000 mg. vit. B2 = 6.000 mg. vit. B6 = 2.800 mg. vit D3 = 2.000.000 UI. vit E = 15.000 mg. vit. K3 = 1.800 mg. Se = 300 mg. Valores analisados entre parênteses.

2.4 Analytical procedures

Prior to DXA scanning, hens were fasted for 2 hours and then anesthetized with isoflurane (2%) diluted in 100% of oxygen. After anesthetized, birds were contained and placed into scan as in dorsal decubitus with the wings and legs flexed (Figure 1). The scan was performed in the cranial-caudal direction, scanning the entire area covered by the bird in high resolution model. Discovery WiTM DXA (Hologic-QDR® model 13.4.2., BEDFORD, MA), previously calibrated by a spine Phantom made by acrylic and aluminum (KELLY et al., 1998) was used to scan the birds. Two modules were used, the “small animal” until the 4th week and the “infant whole body” in the subsequent weeks. At each scan the device software was fed by information of the subject to be scanned, such as the body weight and bird length. The scan provides values in grams of bone mineral content (BMC), fat mass (FM), lean mass (LM) and total mass (TM). After scanned, the hens returned to experiment. Feather-free body samples were frozen at -80C and freeze-dried under vacuum for 72 hours at 50 °C (Edwards Super Modulyo, Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA). Chemical analysis of FFB and feathers were performed according to AOAC (2005). Feather-free body samples were ground in an analytical mill (IKA A11) and analyzed for nitrogen (Foss Kjelttec 8400, method 2001.11), ash (method 942.05), ether extract (method 920.39), and moisture (method 920.39), whilst feathers were analyzed for nitrogen (Foss Kjelttec 8400, method 2001.11) and moisture (method 920.39). Nitrogen was calculated by multiplying the nitrogen content by 6.25. Fat was determined by Ankom XT15 Extractor (ANKOM Technology, Macedon, NY) using petroleum ether as solvent.



Fig. 1. *In vivo* positioning of a bird to perform the DXA scan (A) and captured image of a whole body composition (B).

2.5 Equations to predict body composition in vivo

Body mass measurements obtained by DXA were total mass (TM, g), fat mass (FM, g), lean mass (LM, g) and bone mineral content (BMC, g). The DXA variables were correlated to the values determined by chemical analysis of the FFB using simple and multiple linear regression, where the components obtained by DXA were considered the independent variables (X axis) and chemical analysis outcomes as dependent (Y axis). The equation selected was that exhibited the smaller AIC according to Beal (2005).

$$\ln Y = \beta_0 + \beta_1 \ln X_1 + \beta_2 \ln X_2 + \beta_3 \ln X_3 + \dots \beta_n \ln X_n + e,$$

where: Y, is the estimated weight of the chemical component g; $\ln$ is natural log; β_0 , β_1 , β_2 , β_3 and β_n are regression coefficients; X_1 , X_2 , X_3 , X_n are the components quantified by DXA (g) and e is the error.

In order to test the fit of the prediction equation, it was considered the model $O = P$, where O is the observed value and P is the predicted value, so for every O, the same value is observed in P, thus, the slope of the line is equal to one ($\beta_1 = 1$) and intercept equal to zero ($\beta_0 = 0$). The parameters of the equations were estimated using the PROC REG of the SAS software (SAS Institute Inc., Cary, NC) version 9.4.

2.6 Evaluation of the equations

A total of 60 pullets at 10 different ages (6 pullets/age) were scanned by DXA and euthanized for further chemical analysis of body composition. In order to evaluate the accuracy of the equations in prediction body chemical composition from DXA measurements, all data from DXA were introduced as inputs in the equations generated. Finally, it was performed a linear regression of such predicted data as a function of the observed values of chemical composition.

2.7 Estimates of growth and chemical components parameters

The Gompertz function was used to describe the growth of body, feathers and chemical components of the feather free body for each strain as described by Emmans (1981):

$$W_t = W_m \times e [- e ((\ln (-\ln (W_i/W_m)) - (B \times t)))],$$

where: W_t is the weight (g) at time t ; W_m is the weight at maturity (g); W_i is the birth weight (g), B is the maturation rate (g/day) and t is the age in days. The maximum relative growth age (t^* , days) was obtained considering $1/\ln(-\ln(W_i/W_m))/B$. The absolute growth rate estimate for body and feathers (g/day) was obtained using the derivative of Gompertz function: $GP \text{ (g/day)} = B \times W_t \times \ln(W_m/W_t)$. The Gompertz parameters were estimated using the NLIN procedure of the statistical package SAS version 9.2 (SAS Institute Inc., Cary, NC).

3. RESULTS

3.1 Body weight and body composition

The means regarding body weight (g) and body chemical composition using both DXA and chemical methods are shown in Table 2. Prior to pullets achieving 77 d of age, chemical method and DXA did not differ from each other with regard to the prediction of pullet body weight ($p>0.05$). Irrespective of the age assessed, DXA and chemical method differed from each other in predicting ash content of pullets FFB ($p<0.05$). Except for the first day of age, DXA underestimated in approximately 33% such values compared with chemical method ($p<0.05$). A similar pattern was observed on the prediction of fat mass content, which was equally predicted by DXA and chemical method only at 56th, 77th, 84th, and 112nd d of age. The lean tissue estimated by DXA method corresponds to the crude protein and water contents obtained in the chemical method. In the current study, we chose not to compare the equivalence of methods in providing lean tissue content information. In order to obtain the lean tissue by the chemical method, it would be necessary to compute two variances (protein and water), whilst, in the DXA method, a unique variance is obtained (lean tissue).

Table 2. Mean values of body weight (g), ash (%) and fat (%) in Dekalb Brown pullets determined in the same birds by using DXA compared to chemical analysis methods in each age evaluated

Method	Age (Days)									
	1	14	28	56	70	77	84	98	112	126
Feather-free body weight (g)										
DXA	35.6	124.2	279.5	714.3	1011.2	1025.8	1243.4	1347.1	1541.1	1639.4
CHEM	35.8	112.8	233.1	654.5	920.2	951.1	1066.6	1231.9	1364.4	1512.4
Sign.	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	*	*	*
Ash (g)										
DXA	2.24	2.51	2.73	3.24	1.65	1.75	1.70	1.89	1.94	2.25
CHEM	1.97	2.88	3.26	3.67	3.39	3.55	3.82	3.26	3.49	3.58
Sign.	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Fat (%)										
DXA	13.70	9.30	10.13	9.42	15.12	12.27	12.69	12.57	16.63	20.96
CHEM	4.85	6.80	6.65	8.47	10.17	10.20	11.72	14.94	16.24	17.84
Sign.	*	*	*	ns	*	ns	ns	*	ns	*

Sign. = Significance F-test * significant, ns non- significant, P-value ≥ 0.05 .

3.2 Equations to predict the in vivo chemical components of the body

The equation obtained to predict (Y) the FFB weight, and its chemical components such as ash weight (BMM), fat weight (BFW), protein weight (BP) and water weight (BWater) using DXA measurements (X) are described as follows:

$FFBW_{(g)} = \exp(0.989 \times (\ln TM))$; One correction factor (0.989) is required to obtain the total mass.

$BMM_{(g)} = \exp[(0.44045 \times (\ln BMC)) + (0.33779 \times (\ln Lean))]$;

$BFW_{(g)} = \exp[-4.351 - (0.14257 \times (\ln BMC)) + (0.19065 \times (\ln FatMass)) - (1.74711 \times (\ln Lean)) + (2.94089 \times (\ln TM))]$;

$BP_{(g)} = \exp[-2.007 + 1.06 \times (\ln Lean)]$;

$BWater_{(g)} = \exp[0.00861 + (0.25241 \times (\ln Lean)) + (0.67933 \times (\ln TM))]$;

where: TM is the Total Mass (g), BMC is the Bone Mineral Content, Lean is the Lean Mass composed by Water + Protein (g), Fat Mass (g) obtained by DXA.

As detailed in Table 3, the lowest coefficient of determination (R^2) was 0.96, which indicates that equations generated fit well to data. Additionally, we noticed that either the slope (B_1) of all equations or the intercept (B_0) did not differ from one and zero, respectively ($p > 0.05$), which demonstrates that the predicted values do not differ statistically from the observed ones. Such framework indicates that the prediction equations exhibit high accuracy in predicting body chemical composition.

Table 3. Evaluation of the equations generated by DXA

R^2 = coefficient of determination of linear regression between values predicted by equation and chemical data; * $H_0: B_0 = 0$ (intercept equal to 0); ** $H_0: H_1 = 1$ (inclination equal to 1).

Components (g)	R^2	P-value	
		$B_0=0$	$B_1=1$
Feather free body	0.998	0.1146	0.1699
Protein	0.991	0.8786	0.4970
Ash	0.959	0.7207	0.3445
Fat	0.974	0.6263	0.2807
Water	0.995	0.4397	0.1184

3.3 Description of pullet growth and body chemical composition

Differences in pullet growth started at 14 d of age, being more evident from 70 d of age onward. Irrespective of the strain assessed, all the pullets reached the target body weight recommended by genetic guideline at 18 week of age when pullets achieve sexual maturity (Table 4).

Table 4. Body weight (g) *in vivo* of growing pullets, according to the age of the bird (days)

Age	Dekalb Brown	Lohmann Brown	Dekalb White	Lohmann White
	Body weight (g)			
1	38.0	37.7	44.0	37.0
14	119.3	109.0	117.0	105.3
28	265.0	252.7	251.0	245.0
56	732.0	738.3	605.2	532.5
70	1038.2	1003.0	874.0	817.7
77	1078.3	1107.7	892.0	841.3
84	1165.3	1210.0	946.0	900.0
98	1368.3	1411.7	1104.3	1031.3
112	1564.7	1603.0	1256.0	1141.0
126	1682.3	1722.3	1351.0	1203.3

* Values corresponding to the mean weight of six replicates of each strain

Data regarding the estimates of feather-free body weight and body composition of pullets are detailed in Table 5. Feather-free body water content decreased in approximately 20 and 17% in Brown and White commercial strains, respectively, whilst ash content decreased in 56, 50, 59, and 55% in Dekalb Brown, Dekalb White, Lohmann Brown, and Lohmann White, respectively. Taking into account all the genetic strains, protein content in FFB increased in approximately 35% from one to 98 d of age, and decreased in approximately 8 and 3% in Brown and White pullets from such age until 126 d of age, respectively. Depending on the strain, at 126 d of age, fat content in FFB was approximately 2.5 times greater compared with that measured in one-day-old pullet chicks. Gompertz growth parameters for FFB weight and chemical composition

are shown in Tables 6 and 7, respectively. Brown commercial strains exhibited a higher mature body weight (W_m) compared with White strains. Brown strains exhibited a difference of approximately 3% in W_m (1873 vs. 1809 g), whilst such difference for White strains reached values of approximately 15% (1437 vs. 1253 g). Conversely, an extremely narrow difference between the lower and higher rate of maturity (B) values was noticed among the strains assessed (0.0013 g/day). A little difference was noticed among the inflection points (t^*) estimated for the different strains (from 52 to 58 d of age). White strains exhibited lower values of t^* compared with Brown.

Table 5. *In vivo* feather free body weight body and composition (g/kg) according to strain and age (days) of the laying hens

Age	Dekalb Brown	Lohmann Brown	Dekalb White	Lohmann White
Feather free body weight (g)				
1	34.3	33.5	40.2	35.5
14	106.4	100.8	109.3	99.3
28	244.6	232.3	231.3	222.6
56	664.5	681.3	564.7	351.3
70	925.4	926.2	751.3	701.0
77	954.9	983.0	784.9	735.3
84	1040.7	1070.2	828.8	788.8
98	1236.5	1261.1	978.5	919.4
112	1403.4	1431.6	1112.1	1033.6
126	1511.2	1556.2	1207.0	1041.2
Water				
1	770.4	779.0	759.4	783.4
14	735.4	733.5	737.8	737.1
28	725.7	702.0	696.6	695.5
56	669.8	663.5	666.7	688.4
70	640.0	640.7	651.8	652.3
77	646.6	647.4	655.2	660.8
84	645.6	644.7	654.6	642.1
98	638.2	637.5	647.2	664.5
112	624.3	623.7	639.5	639.9
126	614.4	617.6	631.8	643.1
Protein				
1	138.5	144.2	137.1	150.3
14	170.7	157.3	165.2	157.5
28	170.1	169.0	163.7	160.6
56	191.8	185.7	178.9	177.4
70	175.5	176.4	177.6	181.6
77	184.9	187.4	183.9	193.1
84	188.5	189.1	186.2	180.2
98	189.4	189.7	186.8	192.1
112	179.7	180.1	184.8	181.7
126	171.9	177.4	182.1	185.3
Fat				
1	56.4	49.7	63.9	45.7
14	43.9	64.2	57.5	62.2
28	75.5	75.3	82.4	85.1
56	80.7	91.3	94.3	78.6
70	136.4	136.3	108.8	110.3
77	120.4	117.5	115.1	108.8
84	117.3	118.3	111.4	114.2
98	124.5	126.3	118.2	117.4
112	133.2	153.6	128.1	131.9
126	159.8	161.3	141.4	130.4
Ash				
1	82.3	86.2	73.1	83.3
14	67.2	68.7	67.9	67.7
28	60.1	60.5	60.1	60.6
56	51.8	51.7	51.9	57.1
70	36.6	36.0	37.3	38.0
77	37.1	36.9	37.6	38.5
84	37.5	36.9	39.6	37.6
98	36.2	35.7	36.8	37.6
112	34.2	34.2	36.4	34.5
126	36.1	35.5	36.4	37.5

* Values corresponding to the mean weight of six replicates of each strain

The W_m for water in FFB differed in 4% between Brown pullets and 8% in White pullets, between strains, its observed a difference of approximately 25%. There was a variation in the parameter t^* and B for water and protein weight among strains. Nonetheless, comparing in the same strain the t^* estimated for water with that estimated for protein. Considering B , a little difference can be noticed for such parameters. Among chemical components, ash and fat exhibited the lowest and highest t^* , respectively. Irrespective of ash or fat, the t^* estimated for White pullets were lower than those estimated for Brown pullets.

Table 6. Estimates of the parameters of the Gompertz function of body weight growing hens at different ages

	Dekalb Brown		Dekalb White		Lohmann Brown		Lohmann White	
W_i (g)	34.27 $\pm$ 0.57		40.24 $\pm$ 0.65		33.55 $\pm$ 0,64		35.53 $\pm$ 0.80	
W_m (g)	1808.70 $\pm$ 56.57		1436.6 $\pm$ 36.98		1872.80 $\pm$ 72,41		1253.30 $\pm$ 67.03	
B (/day)	0.0243 $\pm$ 0.0007		0.0233 $\pm$ 0.0006		0.0244 $\pm$ 0,0009		0.0246 $\pm$ 0.001	
t^* (Days)	56.57 $\pm$ 0.90		54.19 $\pm$ 0.72		57.75 $\pm$ 1,09		51.87 $\pm$ 1.70	
DF	59		59		58		54	
	Lower	Upper	Lower	Upper	Lower	Upper	Lower	Upper
W_m (g)	1695.40	1922.0	1362.60	1510.70	1727.70	2017.90	1118.80	1387.80
B (/day)	0.0228	0.0257	0.0221	0.0246	0.0222	0.0259	0.0217	0.0276
t^* (day)	54.77	58.37	52.73	55.64	55.60	59.97	48.47	55.28

($\pm$ SD) Standard Deviation, W_i initial weight of the component, B rate of maturing, t^* inflection point, DF degree of freedom.

Table 7. Estimates of the parameters of the Gompertz function of the body components of growing laying hens

	Dekalb Brown	Dekalb White	Lohmann Brown	Lohmann White
Water				
Cci	770.38	778.96	759.42	783.45
Ccm	597.36	619.50	602.20	637.82
Wi (g)	26.40 ± 0.49	30.56 ± 0.49	26.13 ± 0.50	27.83 ± 0.66
Wm (g)	1089.10 ± 29.97	881.30 ± 20.69	1139.60 ± 38.12	802.50 ± 39.52
B (/day)	0.0248 ± 0.0007	0.0245 ± 0.0006	0.0243 ± 0.0009	0.0244 ± 0.0014
t* (days)	52.12 ± 0.87	50.14 ± 0.70	54.27 ± 1.00	49.92 ± 1.58
Protein				
Cci	138.51	144.19	137.14	150.27
Ccm	166.19	181.57	171.74	182.80
Wi (g)	4.75 ± 0.15	5.52 ± 0.16	4.84 ± 0.13	5.34 ± 0.19
Wm (g)	303.00 ± 8.02	258.30 ± 6.28	325.00 ± 10.10	230.00 ± 10.97
B (/day)	0.0271 ± 0.0008	0.0250 ± 0.0006	0.0260 ± 0.0008	0.0257 ± 0.0014
t* (days)	52.32 ± 0.92	54.28 ± 0.72	55.37 ± 1.00	52.84 ± 1.58
Fat				
Cci	56.36	49.68	63.90	45.69
Ccm	192.30	162.94	206.72	147.59
Wi (g)	1.93 ± 0.04	2.57 ± 0.14	1.67 ± 0.05	1.62 ± 0.04
Wm (g)	350.60 ± 28.29	231.80 ± 11.35	391.20 ± 47.95	185.70 ± 13.10
B (g/day)	0.0200 ± 0.0010	0.0208 ± 0.0070	0.0195 ± 0.001	0.0223 ± 0.001
t* (days)	82.84 ± 1.19	75.52 ± 0.78	86.03 ± 1.68	68.93 ± 1.57
Ash				
Cci	82.32	87.68	71.87	83.27
Ccm	31.69	31.74	32.31	34.18
Wi (g)	2.82 ± 0.03	2.94 ± 0.06	2.89 ± 0.05	2.96 ± 0.08
Wm (g)	57.32 ± 2.04	45.60 ± 1.46	60.52 ± 2.34	42.84 ± 1.97
B (g/day)	0.0263 ± 0.0013	0.0268 ± 0.0013	0.0245 ± 0.0012	0.0249 ± 0.0016
t* (days)	40.47 ± 1.38	36.13 ± 1.21	44.31 ± 1.29	38.50 ± 1.54

(± SD) Standard Deviation, Cci concentration of the component at birth (g/kg) (Cci =initial weight of the component/initial body weight), Ccm concentration of the component at maturity (g/kg) (Ccm = mature weight of the component/mature body weight), Wi initial weight of the component, B rate of maturing, t* inflection point.

The relationship between gain (g) and degree of maturity (U) of live weight and body components are demonstrated in Figure 2. In general, the maximum deposition rate occurs around 50% of the degree of maturity, independently of the component evaluated. All curves indicate that Brown hens have a greater body weight and chemical deposition than White hens; however, a slightly difference was observed for protein deposition.

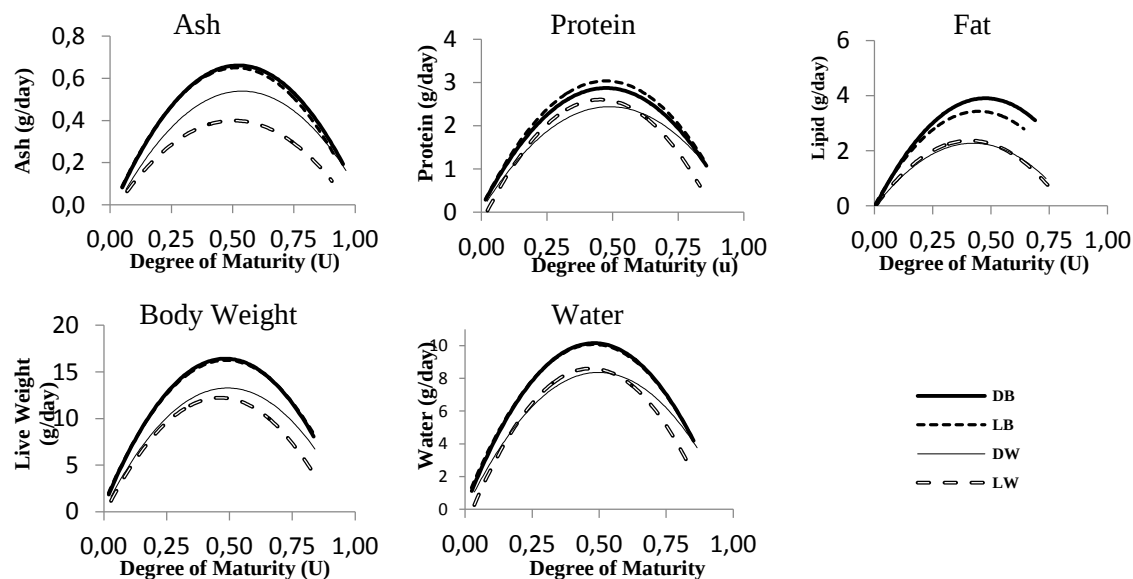


Fig. 2. Relationship between gain (g) and degree of maturity (U) of live weight and body components without feathers of growing layers at different ages. Abbreviations: DB Dekalb Brown, DW Dekalb White, LB Lohmann Brown, LW Lohmann White

3.4 Feather growth and chemical composition

All data regarding feather weight and chemical composition are shown in Tables 8 and 9, respectively. At 1 d-old, on average, feather weight of Brown pullets exceeded over 40% that exhibited by White strain. At 126 d of age, these differences decreased, being equivalent to 5 and 22% if Lohmann Brown data are ignored or considered, respectively. Throughout the growth period, feather protein content increased in parallel to the decrease in water content. There were no marked differences on the amount of both components in the strains assessed.

Table 8. Average weights of feathers (g) of pullets from 1 to 126 days of age

Age	Dekalb Brown	Lohmann Brown	Dekalb White	Lohmann White
1	2.00	2.00	1.50	1.33
14	6.69	5.49	6.58	6.19
28	16.4	17.4	17.7	16.3
56	63.2	56.1	63.0	61.3
70	82.4	92.3	83.4	82.8
77	89.5	128.0	100.2	83.4
84	127.2	130.3	118.4	106.0
98	132.6	140.9	120.2	122.7
112	133.3	149.8	129.2	129.0
126	146.7	173.1	138.5	140.3

*Values corresponding to the average weight of six replicates of each strain in natural matter

Table 9. Composition (g/kg) of and protein and water of laying hens lines according to the age of the birds (days)

Age	Dekalb Brown	Lohmann Brown	Dekalb White	Lohmann White
Protein				
1	482.4	349.8	537.4	321.8
14	410.2	418.6	405.7	406.2
28	434.5	487.1	471.8	452.7
56	608.3	608.2	510.0	633.9
70	650.0	555.3	559.0	538.9
77	542.4	557.2	853.0	595.3
84	627.9	574.9	538.9	585.4
98	589.3	572.7	648.4	547.0
112	591.4	553.1	538.6	531.7
126	666.9	656.9	639.4	608.8
Water				
1	402.4	566.1	334.1	604.1
14	461.7	452.8	470.2	470.2
28	455.1	386.4	404.0	431.9
56	253.2	251.8	375.2	221.2
70	348.6	286.5	282.2	315.3
77	213.3	209.2	391.3	335.7
84	253.1	269.1	210.4	247.9
98	266.0	286.8	310.4	246.3
112	258.0	245.8	288.8	256.3
126	234.4	212.7	269.4	235.7

*Values corresponding to the average weight of six replicates of each strain in natural matter

The Gompertz parameters for feather growth and chemical composition (water and protein) are detailed in Tables 10 and 11, respectively. In general, the strains exhibited similar rate of maturity (B) for feather weight, except for Dekalb White, whose value was 10% higher. Among strains, Lohmann Brown exhibited the highest W_m compared with the others. As well as observed in chemical analysis (Table 10), Gompertz growth parameters demonstrate an opposite behavior between water and protein content in feathers. In all strains, the estimated inflection points (t^*) for water were lower than those estimated for protein.

Table 10. Estimates of the parameters of the Gompertz function of the feather weight of growing laying hens

	Dekalb Brown		Dekalb White		Lohmann Brown		Lohmann White	
Wi(g)	2 ± 0.025		1.5 ± 0.015		2.0 ± 0.0		1.3 ± 0.014	
Wm (g)	166.8 ± 8.3		146.7 ± 4.9		190.2 ± 7.7		158.1 ± 8.2	
B(/day)	0.0297 ± 0.002		0.0327 ± 0.001		0.0293 ± 0.001		0.291 ± 0.001	
t* (Days)	55.4 ± 1.8		49.99 ± 1.5		57.7 ± 1.4		55.6 ± 1.8	
Df	58		57		59		57	
	Lower	Upper	Lower	Upper	Lower	Upper	Lower	Upper
Wm (g)	150.2	183.4	136.8	156.5	172.77	201.79	141.7	174.5
B(/day)	0.0266	0.0328	0.03	0.04	0.0269	0.0317	0.026	0.032
t* (Days)	51.7	59.1	47.0	52.9	54.8	60.5	52.1	59.1

(± SD) Standard Deviation, Cci concentration of the component at birth (g/kg), Wi initial weight of the component, B rate of maturing, t* inflection point.

Table 11. Estimates of the parameters of the Gompertz function of the water and protein in feather of growing laying hens

	Dekalb Brown	Dekalb White	Lohmann Brown	Lohmann White
Water				
Cci	402	334.11	566.11	604.115
Ccm	205.68	230.67	217.74	225.76
Wi(g)	1.195 ± 0.015	0.998 ± 0.010	0.868 ± 0.002	0.53 ± 0.054
Wm (g)	34.31 ± 2.5	33.84 ± 3.8	41.41 ± 2.3	35.7 ± 2.7
B(/day)	0.034 ± 0.003	0.034 ± 0.010	0.031 ± 0.002	0.031 ± 0.003
t* (days)	41.07 ± 3.5	36.05 ± 6.9	49.70 ± 2.3	42.84 ± 3.33
Protein				
Cci	482.42	537.41	349.77	321.83
Ccm	673.26	641.72	676.66	570.52
Wi(g)	0.965 ± 0.011	0.806 ± 0.008	0.699 ± 0.002	0.43 ± 0.0044
Wm (g)	112.3 ± 8.0	94.14 ± 12.8	128.7 ± 7.3	90.20 ± 5.3
B(/day)	0.026 ± 0.001	0.031 ± 0.004	0.025 ± 0.001	0.030 ± 0.0017
t* (days)	60.51 ± 2.05	53.28 ± 5.44	64.67 ± 1.51	55.45 ± 2.18

(± SD) Standard Deviation, Cci concentration of the component at birth (g/kg) (Cci = initial weight of the component/initial body weight), Ccm concentration of the component at maturity (g/kg) (Ccm = mature weight of the component/mature body weight), Wi initial weight of the component, B rate of maturing, t* inflection point.

Figure 3 shows the deposition of feather components (g/day) as a function of the degree at maturity (U), assuming the maximum deposition until decreasing to zero at

maturity. The shape of the curve between the ratio of gain (g) and degree of maturity i.e. body weight or component divided by its weight at maturity, shows that the rate of growth increases to the maximum and then declines to zero at maturity. The maximum point occurs at the inflection point of the growth curve, which is represented by the parameter t^* in the Gompertz equation.

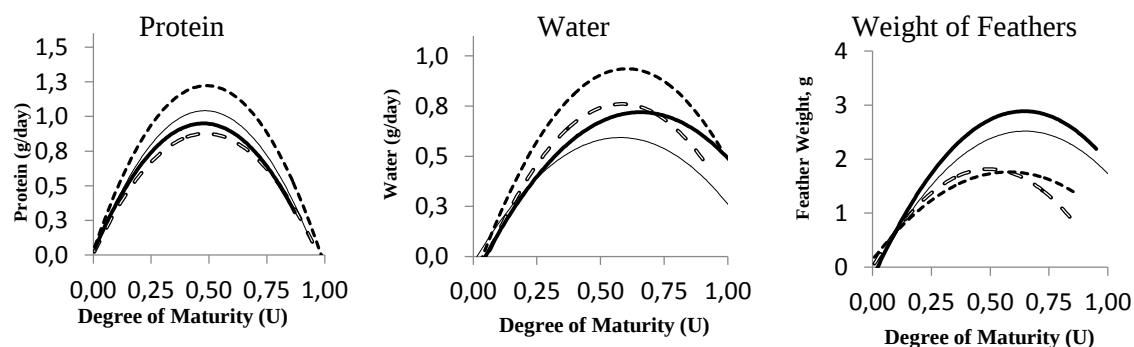


Fig. 3. Relationship between the gain (g) and the degree of maturity (U) A- Protein, B- Water, C- Weight of Feathers. Dekalb Brown —, Dekalb White —, Lohmann Brown -----, Lohmann White -----.

4. DISCUSSION

4.1 DXA vs. chemical analysis: pullet growth and body chemical composition

The accurate description of genotype provides a way to predict the pattern with which birds grow, and by performing simulations from such information, bird performance may be predicted in a wide array of practical conditions. As an attempt of describing growth potential and chemical body composition, a plethora of mathematical functions has been published on literature over the last century, being the Gompertz function often described as the most proper one to fulfill such purpose. Indeed, several were the studies, which proved the reliability of Gompertz function (GOMPertz, 1825) in predicting animal growth and chemical composition; however, some limitations in the way with which such data were collected in these studies may have biased the estimates obtained, mainly those regarding body chemical composition.

These limitations refer mainly in the fact that such studies have relied on the comparative slaughter technique with subsequent carcass chemical analysis of a reference group of birds at the beginning of the study, and different birds throughout the period the study lasted. From the above-referred procedures, two misguided assumptions arise: the first is that the reference birds represent the whole group, and the second is that a bird slaughtered at a specific age represents those, which were previously slaughtered, and those, which will be further slaughtered. Thus, taking successive growth and the chemical body composition *in vivo* measurements of a representative group of individuals seems to be a more accurate way of generating a reliable growth model.

Given this background, we designed the current research in order to estimate growth and chemical composition of laying hen pullets based on parameters obtained from continuous *in vivo* measurements originated from DXA. The use of DXA method to estimate human chemical composition dates from the eighties of the last century, whilst its application in animal research has been reported since the nineties of the same century (MITCHELL et al., 1991; KÖVÉR et al., 1998; MITCHELL et al., 2011). The main advantage of this method is that it is a non-destructive method, being thereby a useful tool to understand the dynamic of growth of an individual throughout its production phases. Despite its advantages, our outcomes indicate that when contrasted with chemical analysis, DXA showed to under and/or overestimate either chemical components of pullet carcass or the sum of these components (total mass). We noticed that the total mass estimated by DXA were higher to the observed live weight when pullet reached more than 1 kg, which are in agreement with Swennen et al. (2004) reports for broiler chicks. Except at 1-d-old pullets, ash in FFB estimated by DXA was lower than that determined by chemical analysis. The difference between results from

both methods did not follow a pattern, exhibiting a range from 13 to 55%. Our outcomes support previous findings that DXA underestimates ash in broiler carcass compared with chemical method (SWENNEN et al., 2004; MITCHEL et al., 2011). Such outcomes, although not desired, were already expected since DXA technique was developed and used to determine mineral in bones such as spine and hip (LASKEY and PHIL, 1995), ignoring thereby mineral content of muscles, liver, and all the other remaining tissues of body (SPEAKMAN et al., 2001). We noticed that, among the ten ages assessed herein, DXA estimated equal values of fat content in FFB to those determined by chemical analysis only at 56, 77, 84, and 112 d of age. For the other ages, on average, DXA overestimated fat mass by approximately 67%. Likewise, Mitchel et al. (2011) reported that DXA overestimated fat content of broiler carcass in 50%, whilst Swennen et al. (2004) noticed an equivalence between these methods in predicting broiler body fat content.

As mentioned above, we did not contrast DXA outputs for lean with the chemical analyzed content of protein in FFB. The reason by which such comparison were not accomplished relies on the fact that lean values represent the sum of protein and water content, which in turn, are determined separately by chemical analysis. Thus, prediction equations are essential to estimate both components from DXA measurements. In our research, such prediction equations for water content were developed using multiple linear regression taking into account the values estimated by DXA for total mass and lean, whilst protein was predicted by linear regression equation considering as dependent variable the lean values estimated by DXA. Once DXA outputs for total mass, ash, and fat content in FFB did not exhibit equivalence with chemical measurements throughout the entire growth phase, prediction equations for these variables were also developed. The parameters detailed in Table 3 indicate the

high accuracy of the aforementioned prediction equations, since all intercepts were statistically equal to zero, all the slopes were statistically equal to one, and the minimum values for the coefficient of determination was 0.95. From this, we can conclude that all the five prediction equations developed for total mass, fat mass, lean, water, and ash can be used to predict pullet chemical composition.

According to figure 3, the shape of the observed curve between the ratio of gain (g) and degree of maturity (body weight or component divided by its weight to maturity), shows that the growth rate increases to the maximum and then declines to zero at maturity, which determines the inflection point, represented by parameter t^* . Amongst chemical components, Ash demonstrate an earlier maturity. During growing phase, the bone structure need to be well developed to give support to metabolic process and egg production (Hester et al., 2011), hence, an earlier maturity of Ash content is expected. On the other hand, Lipid was the component with the low deposition, and at the last measure (day 126) it was far from W_m . Lipid content will increase for all growing and production phase, and it's affected by the environment and nutrition (Gous et al., 2014), thus the prediction observed in this study may be used to indicate how far this component is from it W_m , however, alterations might be expected throughout hens life. Live weight and water demonstrate similar curves in comparison to protein deposition, which confirm findings that protein have a positive relation to live weight and water (Emmans ,1981; Danisman and Gous, 2013; Gous, 2014).

4.2 Growth and chemical composition parameters of feather-free body and feather

All Gompertz parameters herein described were obtained from DXA outputs corrected by the prediction equations above described. Beyond warranting more realistic parameters, since successive measurements were taken from same individual,

such approach has an innovative nature, since all the few growth models for pullets published in literature were obtained from the traditional slaughter technique. We are not aware of any published study that estimated growth parameters for the strains assessed herein in the last decade. Data regarding pullet growth were reported by Neme et al. (2006) and Silva et al. (2015), who described growth potential of Hy-Line and Hysex strains.

Body weight parameters indicate that Brown strains exhibited a higher mature body weight compared with White layers, whilst growth rate (B) and the age when this rate is maximum (t^*) differed slightly between the strains. Neme *et al.* (2006), found for Hy-line and Hysex (Brown and White) a growth rate of live body weight of 0.023/day for Hisex Brown and White and Hy Line Brown. For Hy Line W36 was found a value of 0.026/day. In this study we found that the growth rate changes around 0.023 and 0.024/day. Similarly, the estimated value for the inflection point (t^*), which indicate when birds achieve the maximum growth rate (54 and 59 days) was similar to what was found by Neme et al. (2006) (52 and 59 days).

The W_m estimated in Gompertz function will depend mainly on the genetic evaluated. For example, the W_m expected for broiler chickens will occur at the beginning of sexual maturity, however in pullets, the W_m is expected when the hen is at the peak of egg production, which is quite distant from the beginning of sexual maturity (Silva et al., 2015). A slightly difference is expected among animals from the same class, however, in this study, there was difference mainly between Brown and White strains. This difference was expected, considering that Brown strains are heavier, reflecting the observed body weight obtained at day 126 of this study. Furthermore, the parameters suggest that Brown strains evaluated are closely related, which was not observed between White strains. The values of W_m found by Neme et al. (2006),

indicate that this parameter is affected by genetic selection rather than B, since the values of Wm estimated for Brown and White hens were respectively 11 and 13% greater than what was found in this study.

Considering that body protein has a positive relation with body weight (Danisman and Gous, 2011), we expected that Gompertz parameters found for body protein follow the same behavior of body weight parameters. Indeed, the variation observed on Gompertz parameters for protein is related at some degree with body weight, which explain the results observed by other authors (Danisman and Gous 2011; Danisman and Gous 2013; Sakomura et al., 2011). In this study, parameters determined for body lipid demonstrate the same behavior as observed for protein, however, this is expected only when birds are raised in an ideal environment with a diet that will meet, with no excess, the requirement for all nutrients including energy. Otherwise, body lipid will be affected and Gompertz function will poorly describe the increment of lipid (Gous et al., 2014). Among all chemical components evaluated, the parameter estimated for ash demonstrate the small variation between strains. In fact, only a slightly variation was observed mainly between Brown and White strains. The difference in body weight is a possible explanation, since the body ash also have a positive relation to body weight (Danisman and Gous 2011).

As mentioned before, DXA device is unable to detect feathers, thus all results presented herein must be related to feather-free body. In order to evaluate the growing of feathers, a slaughter technique was applied, and chemical analysis of feather was performed. It was observed that the protein content on dry matter base did not differ significantly (approximately 800 g/kg of dry matter) during the growing period, however, the protein content, as is, increased over the period accompanied by a decrease in the water content of the feathers. This phenomenon was also described by Hancock *et*

al. (1995) who reported that the protein content of feathers seems to increase over the growing period. The higher maturation rate of feathers in relation to the body seems to indicate that their growth is more accelerated than the body. In addition, the protein composition of feather is quite different from feather-free body (Stillborn et al., 2010), which justifies the separate study between body and feathers.

5. CONCLUSION

The methodology standardized herein with DXA, can be used to estimate chemical composition of growing pullets with quite accuracy. The possibility to evaluate the animal throughout the growing period is an advantage of this technique and should be considered by production farms. Since DXA is unable to detect feathers, all predictions are related to feather-free body. Feather study evaluated using slaughter technique complement al parameters necessary to predict the growth of pullets, which could be used to update growing models.

6. REFERENCIAS

- AOAC, 2005: Official Methods of Analysis. 18th edn. AOAC, Gaithersburg, MD, USA.
- Beal, D. S. J., (2005). SAS® Code To Select The Best Multiple Linear Regression Model For Multivariate Data Using Information Criteria. Science Applications International Corporation, Oak Ridge, TN. **In Symposium: 13th Annual Southeast SAS Users Group (SESUG)**. Portsmouth, VA. The Proceedings Of The Southeast SAS Users Group. SAS Institute Inc. [Http://Analytics.Ncsu.Edu/Sesug/2005/SA01_05.PDF](http://Analytics.Ncsu.Edu/Sesug/2005/SA01_05.PDF)
- Danisman, R. Gous, R. M. Effect Of Dietary Protein On The Allometric Relationships Between Some Carcass Portions And Body Protein In Three Broiler Strains. **South African Journal Of Animal Science**. V. 41, N. 3, P. 194-208, 2011.
- Danisman, R. Gous, R. M. Effect Of Dietary Protein On Performance Of Four Broiler Strains And On The Allometric Relationships Between Carcass Portions And Body Protein. **Animal And Poultry Science**, University Of Kwazulu-Natal, Pietermaritzburg, South Africa. V. 43, N. 1, 201.

Emmans, G. C. A Model Of The Growth And Feed Intake Of Ad Libitum Fed Animals, Particularly Poultry. In: Hillyer, G.M., Whittemore, C.T.; Gunn, R.G. Computers In Animal Production. **British Society Of Animal Production, Occasional Publication**, 5 Ed., 1981. P. 103-110.

Emmans, G. C.; Fisher, C. Problems In Nutritional Theory. In: Fisher, C.; Boorman, K. N. Nutrient Requirements Of Poultry And Nutritional Research. (Eds C Fisher And Kn Boorman), Pp 9-39. (Oxford, Butterworths). 1986.

Emmans, G.C. Growth, Body Composition And Feed Intake. **World's Poultry Science Journal**, V.43, P.208-227, 1987.

Gompertz, B. On The Nature Of The Function Expressive Of The Law Of Human Mortality And On A New Method Of Determining The Value Of Life Contingencies. **Phylosophical Transactions Of The Royal Society Of London**.,V. 115, P. 513-585, 1825.

Gonçalves, C. A., Sakomura, N. K., Silva, E. P., Gous, R. M., Measuring Body Composition Using Dxa Supports *In Vivo* Assessment Of The Growth Potential Of Broiler Strains. - In Press (Animal Production Science) – 2018.

Gous, R. M., Modeling As A Research Tool In Poultry Science. *Poultry Science*, V. 93, P. 1–7, 2014

Hauschild, L. Et Al. (2013). Avinespmodel: Model For Predicting Poultry Growth And Energy And Amino Acid Requirements. In: International Symposium: **Modelling In Pig And Poultry Production**. Funep, Jaboticabal, Sp, P. 1-20, 2013.

Hancock, C.E. Et Al. The Evaluation Of The Growth Parameters Of Six Strains Of Commercial Broiler Chickens. **British Poultry Science**, V.36, P.247-264, 1995.

Hancock, C. E.; Bradford, G. D.; Emmans, G. C.; Gous, R. M. The Evaluation Of Growth Parameters Of Six Strains Of Commercial Broiler Chickens. **British Poultry Science**, V. 36, P. 247-64, 1995.

Hester,P.Y.; Wilson, D.A.; Settar, P.; Arango, J.A.; O'sullivan, N.P. Effect Of Lighting Programs During The Pullet Phase On Skeletal Integrity Of Egg-Laying Strains Of Chickens. **Poultry Science**, V.90, P.1645-1651, 2011.

Kelly, T. L., Berger, N., E Richardson, T. L. (1998). Dxa Body Composition: **Theory And Practice**. *Applied Radiation And Isotopes*, 49(5–6), 511-513.

Kövér, G., Romvár, I. R., Horn, P., Berényi, E., Jensen, J. F., Sørensen, P., In Vivo Assessment Of Breast Muscle, Abdominal Fat And Total Fat Volume In Meat-Type Chickens By Magnetic Resonance Imaging. **Acta Veterinaria Hungarica**. 1998;46(2) 135-144. Pmid: 9704518.

Laskey, M. A., And D. Phil. 1995. Dual-Energy X-Ray Absorptiometry And Body Composition. **Nutrition**, Vol. 12, No. 1, 1995

Lewis, R. M.; Emmans, G. C.; Simm, G., A Description Of The Growth Of Sheep And Its Genetic Analysis. Faculty Papers And Publications In **Animal Science**, N. 827 [Http://Digitalcommons.Unl.Edu/Animalscifacpub/827](http://Digitalcommons.Unl.Edu/Animalscifacpub/827), 2002.

Lirette, A., R. A. Towner, Z. Liu, E. G. Janzen, J. R. Chambers, R. W. Fairfull, L. P. Milligan, And D. C. Crober. 1993. In Vivo Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy Of Chicken Embryos From Two Broiler Strains Of Varying Fat Content. **Poultry Science**. 72:1411–1420.

Martin, P. A.; Bradford, G.; Gous, R. M. A Formal Method Of Determining The Amino Acid Requirements Of Laying-Type Pulleys During Their Growing Period. **British Poultry Science**, V. 35, P. 709-724, 1994.

Mitchell, A. D.; Rosebrough, R. W.; Conway, J. M. Body Composition Analysis Of Chickens By Dual Energy X-Ray Absorptiometry. **Poultry Science**, V. 76, P. 1746-1752, 1997.

Mitchell, A. D., Rosebrough, R.W., Taicher, G.Z., Kovner, I. In Vivo Measurement Of Body Composition Of Chickens Using Quantitative Magnetic Resonance. **Poultry Science**. 2011, Aug;90(8):1712-9. Doi: 10.3382/Ps.2010-01156.

Neme, R., Sakomura, N. K., Fukayama, E. H., Freitas, E. R., Fialho, F. B., Resende, K. T., Fernandes, J. B. K. Curvas De Crescimento E De Deposição Dos Componentes Corporais Em Aves De Postura De Diferentes Linhagens. **Revista Brasileira De Zootecnia**, V. 35, P. 1091-1100, 2006.

Sakomura, N. K.; Gous, R. M.; Marcato, S. M., Fernandes, J. B. K. A Description Of The Growth Of The Major Body Components Of 2 Broiler Chicken Strains. **Poultry Science**, V. 90, P. 2888–2896, 2011.

Stilborn , H. L., Moran, E. T., Gous, R. M., Harrison, M. D. Influence Of Age On Carcass (Feather-Free) Amino Acid Content For Two Broiler Strain-Crosses And Sexes, **The Journal Of Applied Poultry Research**, V. 19, I. 1, 1, Pag. 13–23, 2010.

Silva, E. P.; Malheiros, E. B.; Sakomura, N. K.; Venturini, K. S.; Hauschild, L.; Dorigam, J.C.P.; Fernandes, J. B. K. . Lysine Requirements Of **Laying Hens. Livestock Science** (Print), P. 69-77, 2015.

Silva, E. P.; Sakomura, N. K.; Dorigam, J. C. P.; Malheiros, E. B.; Peruzzi, N. J. Adjustment Of Growth Parameters For The Major Body Components Of Pullets. **Revista Ciência Agronômica**, V. 47, N. 3, P. 572-581, 2016.

Scholz, A. M. Et Al. Non-Invasive Methods For The Determination Of Body And Carcass Composition In Livestock: Dual-Energy X-Ray Absorptiometry, Computed Tomography, Magnetic Resonance Imaging And Ultrasound: Invited Review, **Animal**, V9,Nº 7, P 1250-1264, 2015.

Speakman, J. R.; Booles, D.; Butterwick, R. Validation Of Dual Energy X-Ray Absorptiometry (Dxa) By Comparison With Chemical Analysis Of Dogs And Cats. **International Journal Of Obesity**, V. 25, P. 439-447, 2001.

SWENNEN, Q.; JANSSENS G. P. J.; GEERS, R.; DECUYPERE, E.; BUYSE J. Validation of Dual-Energy X-Ray Absorptiometry for determining *in vivo* body composition of chickens. **Poultry Science**, v. 83, p. 1348-1357, 2004.

ANEXO 1 - Body composition values estimated by DXA and by chemical analysis.

Table 1 Mean values $\pm$ standard deviation of fat mass (%) body mineral component (%) Lean mass (%) and total mass (g) estimated using the DXA technique and mineral content (%), fat (%), crude protein (%), water (%) and body weight (g) estimated by the chemical analysis method (Chemical Method) for Dekalb Brown. Mean values $\pm$ deviation by method and age.

Method	Age	FM		BMC		LEAN		BW		FFBW	
		Mean	$\pm$ SD	Mean	$\pm$ SD	Mean	$\pm$ SD	Mean	$\pm$ SD	Mean	$\pm$ SD
DXA	1	12,68	$\pm$ 2,58	2,24	$\pm$ 0,18	84,06	$\pm$ 3,53			35,62	$\pm$ 1,11
	14	9,30	$\pm$ 2,08	2,51	$\pm$ 0,13	88,18	$\pm$ 2,12			124,23	$\pm$ 11,39
	28	10,13	$\pm$ 1,99	2,73	$\pm$ 0,16	87,12	$\pm$ 2,13			279,48	$\pm$ 17,25
	56	9,42	$\pm$ 0,90	3,24	$\pm$ 0,16	87,34	$\pm$ 0,90			714,27	$\pm$ 54,43
	70	12,92	$\pm$ 2,84	1,65	$\pm$ 0,07	84,24	$\pm$ 3,87			1.011,18	$\pm$ 129,62
	77	12,27	$\pm$ 2,36	1,75	$\pm$ 0,15	85,99	$\pm$ 2,47			1.025,75	$\pm$ 113,76
	84	12,69	$\pm$ 1,66	1,70	$\pm$ 0,15	85,61	$\pm$ 1,73			1.243,42	$\pm$ 66,10
	98	12,57	$\pm$ 1,90	1,89	$\pm$ 0,18	85,54	$\pm$ 1,99			1.347,12	$\pm$ 135,30
	112	16,63	$\pm$ 2,30	1,94	$\pm$ 0,22	80,45	$\pm$ 1,26			1.541,13	$\pm$ 130,49
	126	20,96	$\pm$ 2,86	2,25	$\pm$ 0,25	76,79	$\pm$ 2,78			1.639,42	$\pm$ 93,79
Químico		Fat		MM		BP		BW		FFBW	
	1	4,86	$\pm$ 0,60	1,97	$\pm$ 0,19	14,06	$\pm$ 0,68	78,33	$\pm$ 1,03	35,75	$\pm$ 1,00
	14	6,80	$\pm$ 0,92	2,88	$\pm$ 0,21	16,71	$\pm$ 0,50	72,33	$\pm$ 0,52	112,75	$\pm$ 9,94
	28	6,65	$\pm$ 0,88	3,26	$\pm$ 0,29	18,40	$\pm$ 0,54	71,67	$\pm$ 1,21	233,08	$\pm$ 23,16
	56	8,46	$\pm$ 0,73	3,52	$\pm$ 0,24	17,76	$\pm$ 0,65	69,20	$\pm$ 1,48	654,51	$\pm$ 49,31
	70	10,17	$\pm$ 1,60	3,39	$\pm$ 0,34	18,78	$\pm$ 0,74	68,50	$\pm$ 1,97	920,22	$\pm$ 124,97
	77	10,20	$\pm$ 0,84	3,55	$\pm$ 0,17	19,17	$\pm$ 0,61	68,00	$\pm$ 1,79	951,06	$\pm$ 99,27
	84	11,72	$\pm$ 1,64	3,82	$\pm$ 0,10	20,04	$\pm$ 0,92	64,50	$\pm$ 1,64	1.066,59	$\pm$ 105,51
	98	14,94	$\pm$ 2,28	3,26	$\pm$ 0,20	18,37	$\pm$ 0,99	64,20	$\pm$ 1,79	1.231,93	$\pm$ 118,83
	112	16,24	$\pm$ 1,04	3,49	$\pm$ 0,34	18,01	$\pm$ 1,03	61,67	$\pm$ 1,75	1.410,54	$\pm$ 136,64
	126	17,84	$\pm$ 1,49	3,58	$\pm$ 0,47	16,54	$\pm$ 0,76	61,50	$\pm$ 1,38	1.512,44	$\pm$ 82,29
General Mean $\pm$ Std Dev		11,84	$\pm$ 0,40	2,71	$\pm$ 0,70	50,94	$\pm$ 3,12	68,03	$\pm$ 0,69	852,92	$\pm$ 50,12
Main Effect											
Method	Dxa	12,90	$\pm$ 3,98	2,19	$\pm$ 0,52	84,67	$\pm$ 4,01	68,03	$\pm$ 5,28	890,28	$\pm$ 73,95
	Chemical	10,83	$\pm$ 4,37	3,26	$\pm$ 0,57	17,78	$\pm$ 1,76	.	.	815,57	$\pm$ 67,96
Age	0	8,41	$\pm$ 4,42	2,11	$\pm$ 0,23	49,06	$\pm$ 36,63	78,33	$\pm$ 1,03	35,68	$\pm$ 1,01
	14	8,05	$\pm$ 2,02	2,69	$\pm$ 0,26	52,44	$\pm$ 37,36	72,33	$\pm$ 0,52	118,49	$\pm$ 11,82
	28	8,39	$\pm$ 2,34	2,97	$\pm$ 0,35	52,76	$\pm$ 35,92	71,67	$\pm$ 1,21	256,28	$\pm$ 31,08
	56	8,98	$\pm$ 0,93	3,35	$\pm$ 0,23	55,71	$\pm$ 36,35	69,20	$\pm$ 1,48	687,10	$\pm$ 58,54
	70	11,42	$\pm$ 2,56	2,44	$\pm$ 0,94	51,51	$\pm$ 34,29	68,50	$\pm$ 1,97	965,70	$\pm$ 130,36
	77	11,23	$\pm$ 2,00	2,65	$\pm$ 0,96	52,58	$\pm$ 34,94	68,00	$\pm$ 1,79	988,41	$\pm$ 109,01
	84	12,20	$\pm$ 1,65	2,76	$\pm$ 1,11	52,82	$\pm$ 34,27	64,50	$\pm$ 1,64	1.146,96	$\pm$ 125,86
	98	13,75	$\pm$ 2,35	2,57	$\pm$ 0,74	51,95	$\pm$ 35,11	64,20	$\pm$ 1,79	1.289,53	$\pm$ 135,49
	112	16,42	$\pm$ 1,65	2,71	$\pm$ 0,86	42,99	$\pm$ 32,26	61,67	$\pm$ 1,75	1.475,84	$\pm$ 144,49
	126	19,40	$\pm$ 2,72	2,92	$\pm$ 0,78	46,67	$\pm$ 31,52	61,50	$\pm$ 1,38	1.575,93	$\pm$ 107,11

* Not quantified by the DXA technique. Abbreviations: FM = Fat Mass, BMC= body mineral component, LEAN= lean mass, BW = body water, TM= total mass, Fat= body fat, MM=body mineral matter, BP=crude body protein, FFBW= Feather-free body weight.